

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO Y PURIFICACIÓN DE AGUA USANDO LA RADIACIÓN  
SOLAR COMO FUENTE DE ENERGÍA ALTERNA**

**FRANCISCO JAVIER MANRIQUE CASTRO**

**JULIO CÉSAR MANRIQUE CASTRO**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÉTICA MECÁNICA  
PROGRAMA INGENIERÍA MECÁNICA  
SANTIAGO DE CALI  
2005**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO Y PURIFICACIÓN DE AGUA USANDO LA RADIACIÓN  
SOLAR COMO FUENTE DE ENERGÍA ALTERNA**

**FRANCISCO JAVIER MANRIQUE CASTRO**

**JULIO CÉSAR MANRIQUE CASTRO**

Trabajo de Grado para Optar el Título de  
Ingeniero Mecánico

Director

CARLOS EDUARDO RONCANCIO URIBE  
Ingeniero Mecánico

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÉTICA MECÁNICA  
PROGRAMA INGENIERÍA MECÁNICA  
SANTIAGO DE CALI  
2005**

**Nota de Aceptación:**

Aprobado por el comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar el título de Ingeniero Mecánico.

SONIA GÓMEZ MORENO

---

Jurado

NESTOR ARTURO PINCAY G.

---

Jurado

Santiago de Cali, Julio 14 de 2.005

A Dios, a mis padres Vicente y Enriqueta, mis hermanos Vicente, Vanessa y Julio, a Damaris y a todas aquellas personas que me brindaron apoyo y confianza durante el tiempo de su realización.

Francisco Javier

A Dios, a mis padres Vicente y Enriqueta que me brindaron su apoyo incondicional durante todo el tiempo de la carrera, a mis hermanos Vicente, Vanessa y Javier, a Lorena que me impulsaron para culminar este proyecto.

Julio César

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Dios

Carlos Eduardo Roncancio Uribe, Director del proyecto.

José Vicente Manrique

Enriqueta Castro

Fernando Montoya, Interventor para la realización del montaje.

La Universidad Autónoma de Occidente.

Dolly Murillo.

Maribel Rodríguez.

Todas las personas que colaboraron de una u otra forma con la realización de este proyecto.

## CONTENIDO

Pág.

### RESUMEN

### INTRODUCCIÓN

1

### 1. OBJETIVOS Y RESTRICCIONES DEL PROYECTO

2

#### 1.1. OBJETIVO GENERAL

2

#### 1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

2

#### 1.3. RESTRICCIONES

2

### 2. FUNCIONAMIENTO GENERAL DEL SISTEMA

3

### 3. MARCO TEÓRICO

5

#### 3.1. PURIFICACIÓN DEL AGUA

5

##### 3.1.1. Pasos del Proceso de Purificación

6

#### 3.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO

14

##### 3.2.1. Necesidades y Limitaciones del Sistema

14

##### 3.2.2. El Fluido y sus Características

14

##### 3.2.3. Pérdidas de Energía por Fricción en el Conducto

14

##### 3.2.4. Pérdidas de Energía en Accesorios

19

##### 3.2.5. Tipos de Bombas Compatibles con los Sistemas Fotovoltaicos (FV)

21

##### 3.2.6. Eficiencia Mecánica de una Bomba

25

##### 3.2.7. Características de Operación y Ubicación del Sistema.

26

#### 3.3. SELECCIÓN DE LA BOMBA

26

#### 3.4. BOMBEO FOTOVOLTAICO

27

#### 3.5. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

28

##### 3.5.1. Funcionamiento de las Celdas Solares:

28

##### 3.5.2. Componentes del Sistema

30

#### 3.6. DISEÑO DE LOS SOPORTES (VIGAS) DE LOS MÓDULOS SOLARES

38

##### 3.6.1. Tipo de Perfiles Disponibles para esta Aplicación

39

##### 3.6.2. Tipo de Apoyos que Presentan los Soportes:

40

##### 3.6.3. Esfuerzos a los que va a ser Sometido el Soporte

41

#### 3.7. DISEÑO DEL MÁSTIL (COLUMNA) DE LOS MÓDULOS SOLARES

42

##### 3.7.1. Tipo de Perfiles Disponibles para esta Aplicación

42

##### 3.7.2. Tipo de Apoyos que Presenta la Columna

42

##### 3.7.3. Comparación de la Relación de Esbeltez Teórica con la Experimental

43

### 4. PREDISEÑO DEL SISTEMA

45

<b>5. CÁLCULO Y DISEÑO</b>	<b>47</b>
5.1. CÁLCULO DEL SISTEMA DE BOMBEO	47
5.2. SELECCIÓN DE LA BOMBA	55
<b>6. CÁLCULO DEL SISTEMA DE PURIFICACIÓN</b>	<b>60</b>
6.1. CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA DEL SISTEMA	60
6.2. SELECCIÓN DE LA BOMBA	67
6.3. SELECCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS PARA EL SISTEMA DE PURIFICACIÓN	69
6.3.1. <i>Vaso de Muestreo</i>	69
6.3.2. <i>Electroválvula</i>	71
6.3.3. <i>Sistema de la Lámpara Ultravioleta (UV)</i>	72
6.3.4. <i>Filtro de Carbón Activado</i>	73
6.3.5. <i>Filtro de Osmosis Inversa</i>	75
6.3.6. <i>Válvulas Reguladoras de Presión (dos válvulas)</i>	75
6.3.7. <i>Llave de Suministro de Agua Potable</i>	76
6.3.8. <i>Indicadores de Presión (Manómetro)</i>	77
6.4. SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS (ENERGÍA SOLAR)	78
6.4.1. <i>Regulador de Carga</i>	78
6.4.2. <i>Módulos Solares</i>	80
6.4.3. <i>Baterías</i>	81
6.4.4. <i>Inversor</i>	82
6.4.5. <i>Unidad Lógica</i>	84
<b>7. CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA (ALUMINIO) DEL TECHO</b>	<b>84</b>
<b>8. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DEL TECHO</b>	<b>92</b>
<b>9. CÁLCULO DEL MÁSTIL (ALUMINIO) DE LOS MÓDULOS SOLARES</b>	<b>100</b>
<b>10. PLANOS DE INGENIERÍA</b>	<b>104</b>
<b>11. CONCLUSIONES</b>	<b>115</b>
<b>12. RECOMENDACIONES</b>	<b>116</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>117</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>118</b>

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
<b>TABLA 1.</b> <i>Propiedades Físicas, Químicas y Microbiológicas del Agua Potable</i>	5
<b>TABLA 2.</b> <i>Resistencia en Válvulas y Junturas expresada como Longitud Equivalente en Diámetros del Conduto</i>	20
<b>TABLA 3.</b> <i>Factor de Fricción en Fluidos de Flujo Turbulento</i>	21
<b>TABLA 4.</b> <i>Factores de Longitud Efectiva, según la Condición Terminal de la Columna</i>	43
<b>TABLA 5.</b> <i>Dimensiones de Manguera de PVC de ½"</i>	48
<b>TABLA 6.</b> <i>Coeficiente de Resistencia – Contracción Súbita</i>	52
<b>TABLA 7.</b> <i>Velocidad del Fluido en Varios Puntos de la Sección Transversal del Conduto</i>	53
<b>TABLA 8.</b> <i>Carga Dinámica y Caudal Obtenidos del Cálculo</i>	55
<b>TABLA 9.</b> <i>Selección de la Bomba</i>	56
<b>TABLA 10.</b> <i>Energía Total Necesaria para el Sistema de Bombeo</i>	58
<b>TABLA 11.</b> <i>Radiación Solar Disponible en el Departamento del Cauca</i>	58
<b>TABLA 12.</b> <i>Carga Dinámica y Caudal Obtenidos del Cálculo del Sistema de Purificación</i>	67
<b>TABLA 13.</b> <i>Selección de la Bomba del Sistema de Purificación</i>	68
<b>TABLA 14.</b> <i>Datos Técnicos del Vaso de Muestreo</i>	70
<b>TABLA 15.</b> <i>Características de la Electroválvula Seleccionada</i>	71
<b>TABLA 16.</b> <i>Tipos de Sistemas de Lámpara Ultravioleta</i>	72
<b>TABLA 17.</b> <i>Selección del Modelo del Sistema de la Lámpara UV</i>	73
<b>TABLA 18.</b> <i>Datos Técnicos del Filtro de Carbón Activado seleccionado</i>	74



<b>TABLA 19.</b> <i>Selección del Filtro de Osmosis Inversa</i>	75
<b>TABLA 20.</b> <i>. Datos Técnicos de la Válvula Reguladora de Presión</i>	76
<b>TABLA 21.</b> <i>Datos Técnicos de la Llave de Suministro de Agua Potable</i>	76
<b>TABLA 22.</b> <i>Datos Técnicos del Regulador de Carga</i>	78
<b>TABLA 23.</b> <i>Energía Total necesaria para el Sistema de Purificación de Agua</i>	79
<b>TABLA 24.</b> <i>Datos Técnicos de la Batería</i>	81
<b>TABLA 25.</b> <i>Especificaciones Técnicas del Inversor</i>	82
<b>TABLA 26.</b> <i>Dimensiones Estandarizadas de Tubería Cuadrada de Aluminio</i>	85
<b>TABLA 27.</b> <i>Comparación de Esfuerzos en 2 Perfiles</i>	90
<b>TABLA 28.</b> <i>Determinación del Comportamiento de las Vigas del Techo</i>	98
<b>TABLA 29.</b> <i>Comparación de Carga Critica en 2 Perfiles</i>	102

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<b>FIGURA 1.</b> <i>Diagrama de Bloques del Sistema de Bombeo</i>	3
<b>FIGURA 2.</b> <i>Diagrama de Bloques del Sistema de Purificación</i>	4
<b>FIGURA 3.</b> <i>Canales de Captación del Agua</i>	6
<b>FIGURA 4.</b> <i>Tanques de Presedimentación y Sedimentación del Agua</i>	6
<b>FIGURA 5.</b> <i>Espectro Electromagnético de Radiación</i>	9
<b>FIGURA 6.</b> <i>Secuencias de ADN Normal y Modificado</i>	9
<b>FIGURA 7.</b> <i>Efecto de UV de Presión Media en un Microorganismo</i>	10
<b>FIGURA 8.</b> <i>Generación de Luz UV</i>	10
<b>FIGURA 9.</b> <i>Efecto en la Transmisión UV</i>	11
<b>FIGURA 10.</b> <i>Tratamiento Vs Transmitancia</i>	12
<b>FIGURA 11.</b> <i>Sistemas en Paralelo y Transversal</i>	13
<b>FIGURA 12.</b> <i>Elementos de Fluidos Utilizados en la Ecuación de Bernoulli</i>	16
<b>FIGURA 13.</b> <i>Diagrama de Moody</i>	19
<b>FIGURA 14.</b> <i>Esquema de una Bomba Centrífuga Superficial</i>	22
<b>FIGURA 15.</b> <i>Esquema de una Bomba Centrífuga Sumergible</i>	22
<b>FIGURA 16.</b> <i>Vista Interna de una Bomba Sumergible (Grundfos)</i>	23
<b>FIGURA 17.</b> <i>Esquema de una Bomba Volumétrica de Cilindro</i>	23
<b>FIGURA 18.</b> <i>Esquema de una Bomba de Diafragma Sumergible</i>	24
<b>FIGURA 19.</b> <i>Bombas de Diafragma no Sumergible (Shurflo)</i>	25

<b>FIGURA 20.</b> <i>Intervalos Comunes donde se Aplica los Diferentes Tipos de Bombas Solares</i>	26
<b>FIGURA 21.</b> <i>Esquema de una Instalación de un Sistema Fotovoltaico de Bombeo de Agua</i>	27
<b>FIGURA 22.</b> <i>Modelo Bidimensional del Cristal de Silicio</i>	28
<b>FIGURA 23.</b> <i>Átomo de Silicio</i>	28
<b>FIGURA 24.</b> <i>Modelo Bidimensional del Cristal de Silicio Dopada con Boro</i>	29
<b>FIGURA 25.</b> <i>Modelo Bidimensional del Cristal de Silicio Dopada con Fósforo</i>	29
<b>FIGURA 26.</b> <i>Formación de la Barrera de Potencial en la Unión P – N</i>	29
<b>FIGURA 27.</b> <i>Formación de un Arreglo de Módulos Solares</i>	30
<b>FIGURA 28.</b> <i>Esquema de un Sistema Fotovoltaico</i>	31
<b>FIGURA 29.</b> <i>Panel Solar de Silicio Monocristalino</i>	33
<b>FIGURA 30.</b> <i>Panel Solar de Silicio Policristalino</i>	33
<b>FIGURA 31.</b> <i>Panel Solar de Silicio Amorfo</i>	34
<b>FIGURA 32.</b> <i>Controlador de Carga</i>	35
<b>FIGURA 33.</b> <i>Controlador Típico de un Sistema Fotovoltaico de Bombeo</i>	36
<b>FIGURA 34.</b> <i>Baterías</i>	36
<b>FIGURA 35.</b> <i>Inversores</i>	38
<b>FIGURA 36.</b> <i>Propiedades de las Secciones Transversales</i>	39
<b>FIGURA 37.</b> <i>Tipos de Vigas y de Cargas sobre Vigas</i>	40
<b>FIGURA 38.</b> <i>Diversas Condiciones Terminales de Columna, y sus Curvas de Deflexión</i>	42
<b>FIGURA 39.</b> <i>Líneas de Falla de Columnas Euler, Johnson y Columnas Cortas</i>	43
<b>FIGURA 40.</b> <i>Prediseño del Sistema</i>	45
<b>FIGURA 41.</b> <i>Ubicación del Tanque de Acopio #1 con Respecto a la Casa Finca</i>	46
<b>FIGURA 42.</b> <i>Perfil de Velocidad para flujo Turbulento</i>	53

<b>FIGURA 43.</b> <i>Perfil de Velocidad en Flujo Turbulento</i>	54
<b>FIGURA 44.</b> <i>Curvas Características de la Bomba (Modelo SQF 1,2-2)</i>	56
<b>FIGURA 45.</b> <i>Curvas Características de la Bomba (Modelo SQF 2,5-2)</i>	68
<b>FIGURA 46.</b> <i>Dimensiones del Vaso de Muestreo</i>	70
<b>FIGURA 47.</b> <i>Características Técnicas de la Electroválvula</i>	71
<b>FIGURA 48.</b> <i>Partes que Constituyen los Sistemas de Lámpara Ultravioleta</i>	73
<b>FIGURA 49.</b> <i>Dimensiones del Portafiltros</i>	74
<b>FIGURA 50.</b> <i>Dimensiones de la Válvula Reguladora de Presión</i>	76
<b>FIGURA 51.</b> <i>Dimensiones de la Llave de Suministro de Agua Potable</i>	77
<b>FIGURA 52.</b> <i>Manómetro</i>	77
<b>FIGURA 53.</b> <i>Regulador de Carga</i>	78
<b>FIGURA 54.</b> <i>Inversor</i>	83
<b>FIGURA 55.</b> <i>Unidad Lógica</i>	83
<b>FIGURA 56.</b> <i>Geometría de la Estructura de los Módulos</i>	84
<b>FIGURA 57.</b> <i>Sección Transversal de la Viga</i>	84
<b>FIGURA 58.</b> <i>Diagrama de Cuerpo Libre de la Viga de la Estructura de los Módulos</i>	86
<b>FIGURA 59.</b> <i>Diagrama de Cuerpo Libre entre los Puntos A y C</i>	87
<b>FIGURA 60.</b> <i>Diagrama de Cortantes de la Viga de la Estructura de los Módulos</i>	88
<b>FIGURA 61.</b> <i>Diagrama de Momentos de la Viga de la Estructura de los Módulos</i>	88
<b>FIGURA 62.</b> <i>Diagrama de Deflexión de la Viga de la Estructura de los Módulos</i>	89
<b>FIGURA 63.</b> <i>Sección Transversal de la Viga de la Casa</i>	92
<b>FIGURA 64.</b> <i>Diagrama de Cuerpo Libre de la Viga del Techo de la Casa</i>	92

<b>FIGURA 65.</b> <i>Diagrama de Cuerpo Libre entre los Puntos A y B</i>	93
<b>FIGURA 66.</b> <i>Diagrama de Cuerpo Libre entre los Puntos B y C</i>	94
<b>FIGURA 67.</b> <i>Diagrama de Cortantes de la Viga del Techo</i>	94
<b>FIGURA 68.</b> <i>Diagrama de Momentos de la Viga del Techo</i>	95
<b>FIGURA 69.</b> <i>Diagrama de Deflexión de la Viga del Techo</i>	97
<b>FIGURA 70.</b> <i>Geometría de la Estructura de los Módulos</i>	99
<b>FIGURA 71.</b> <i>Sección Transversal de la Columna (Mástil)</i>	100
<b>FIGURA 72.</b> <i>Dimensiones del Sistema de Bombeo</i>	104
<b>FIGURA 73.</b> <i>Sistema de Bombeo</i>	105
<b>FIGURA 74.</b> <i>Detalle de la Ubicación de la Bomba en el Tanque de Acopio # 1</i>	106
<b>FIGURA 75.</b> <i>Dimensiones del Tanque de Acopio # 2</i>	107
<b>FIGURA 76.</b> <i>Tanque de Acopio # 2</i>	108
<b>FIGURA 77.</b> <i>Ubicación de los Módulos Solares en el Techo de la Casa Finca</i>	109
<b>FIGURA 78.</b> <i>Ubicación de los Módulos Solares en el Techo de la Casa Finca</i>	110
<b>FIGURA 79.</b> <i>Dimensiones del Sistema de Purificación</i>	111
<b>FIGURA 80.</b> <i>Detalle del Sistema de Purificación</i>	112
<b>FIGURA 81.</b> <i>Sistema de Purificación</i>	113
<b>FIGURA 82.</b> <i>Identificación del Proyecto. Entidades y Personas Involucradas</i>	114

## ***LISTA DE ANEXOS***

Pág.

Estudio Microbiológico del Agua del Sistema de Purificación

118

## **RESUMEN**

Con el propósito de realizar un proyecto de grado para optar el título de ingeniero mecánico se aceptó la propuesta del Ing. Carlos Roncancio Uribe, docente del área de Ciencias Térmicas y Mecánica de Fluidos de la Univ. Autónoma de Occidente, de trabajar un proyecto de aplicación práctica de ingeniería en el tema de las Fuentes Alternas de Energía; en este sentido se aprovechó la oportunidad que en su momento se presentó al conocer que el Ing. Fernando Montoya (egresado de la Univ. Autónoma) iba a realizar un montaje de un sistema de bombeo y purificación de agua usando la energía solar.

Al momento de iniciar este trabajo de grado los equipos para el montaje de la obra aún no habían llegado desde Alemania (sede de la empresa que efectuaría el montaje) y obviamente no se conocían planos, ni diseño alguno, por esta razón se presentó el anteproyecto de realizar dicho diseño partiendo de las condiciones y necesidades requeridas para los usuarios finales.

Después de iniciar el desarrollo de este trabajo de grado, gracias al Ing. Fernando Montoya, se tuvo la oportunidad de participar en el montaje de dicho sistema, adquiriendo experiencia y confrontando los resultados del diseño con lo que gradualmente se iba instalando. Al final se encontró que el diseño en términos generales coincidió con lo que instaló, habiendo presentado diferencias poco relevantes como por ejemplo la cantidad de baterías a usar en el sistema de purificación, la referencia y potencia de las bombas utilizadas y el material de la tubería utilizado en el circuito de purificación de agua.

El desarrollo de este proyecto inició consultando bibliografía referente a energía solar fotovoltaica y purificación de agua, además de los conceptos para el diseño de sistemas de bombeo y calculo estructural, paralelo a esto se determinaron las necesidades y los parámetros para el diseño, con esta información se realizó un prediseño, en el cual se evaluó y determinó el diseño final, incluyendo cálculos y selección de componentes, terminando el proyecto con los planos y las conclusiones del trabajo.

## ***INTRODUCCIÓN***

Este proyecto se enmarca dentro de una problemática general que alude a la falta de recursos que permitan a las diversas comunidades rurales de nuestro país obtener agua potable. Este problema tiene múltiples causas, siendo la más común, que estas comunidades son muy dispersas, es decir, no se encuentran concentradas cerca de una cabecera municipal y por lo tanto no tienen posibilidad de contar con una red de suministro por parte de empresas públicas; por otra parte dada la ubicación de los asentamientos la fuente del recurso hídrico no siempre esta a la mano, haciendo más difícil la consecución del mismo.

Con este proyecto se busca, aplicar conocimientos adquiridos en la carrera de ingeniería mecánica, al igual que desarrollar dos aplicaciones de la Energía Solar como Fuente Alterna de Energía, en la obra social de la finca comunal del Padre Alfred Walker ubicada en el municipio de Mondomo, Departamento del Cauca, donde no se conoció que existiera este tipo de proyectos.



## **1. OBJETIVOS Y RESTRICCIONES DEL PROYECTO**

La ejecución del presente proyecto incluye:

### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

- Diseñar un sistema de bombeo y purificación de agua tomada de pozo utilizando como fuente de energía la radiación solar, para una casa comunitaria en una zona rural.

### **1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Determinar los parámetros y variables del sistema.
- Calcular y dimensionar los componentes del sistema.
- Realizar planos para indicar la distribución del sistema.

### **1.3. RESTRICCIONES**

- El sistema de bombeo y purificación del agua está supeditado a la intensidad de la energía solar lo que hace que su funcionamiento y eficiencia dependa de las condiciones climáticas de la zona.
- Este sistema esta diseñado para bombear y purificar agua de un pozo para 160 personas suponiendo que cada una consume 8 litros de agua al día.

## 2. FUNCIONAMIENTO GENERAL DEL SISTEMA

Para realizar una descripción del funcionamiento de este sistema, lo dividimos en dos subsistemas que son:

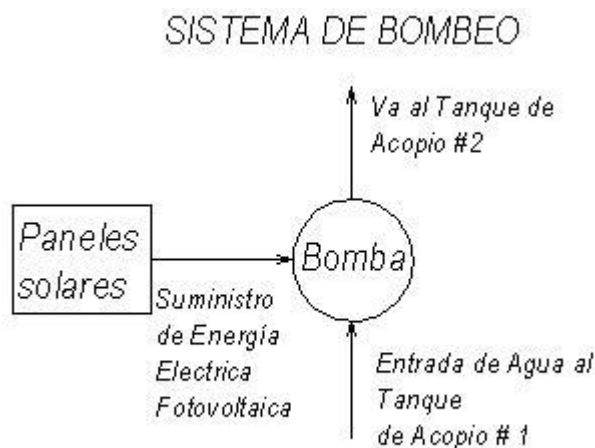
- El subsistema de bombeo de agua.
- El subsistema de purificación del agua.

### Subsistema de Bombeo de Agua:

El agua llega desde un manantial por gravedad a un tanque de acopio # 1, a través de canales (captación). Este tanque, ubicado en el pie de la montaña donde se encuentra la casa finca, tiene tres subdivisiones o etapas, en donde el agua pasa de una a otra por rebose, para así lograr que las partículas pesadas se precipiten al fondo (sedimentación). En la última etapa, va alojada una bomba sumergible de rotor helicoidal (desplazamiento positivo), la cual impulsa el agua, a través de una manguera de PVC, hasta un tanque de acopio # 2 ubicado en la parte posterior de la casa finca, en la cima de la montaña. La bomba cuenta con una unidad de control conectada a dos interruptores de nivel, donde uno protege la bomba para evitar que trabaje en vacío y el otro la apaga cuando el tanque de acopio # 2 este lleno.

La energía eléctrica que consume la bomba se provee a través de cuatro módulos solares que están ubicados cerca al tanque de acopio # 1, los cuales están soportados sobre una estructura y mástil de aluminio.

Fig. 1. Diagrama de Bloques del Sistema de Bombeo



### Subsistema de Purificación de Agua:

Después de que el agua llega al tanque de acopio # 2, pasa al subsistema de purificación por gravedad mediante una manguera de PVC.

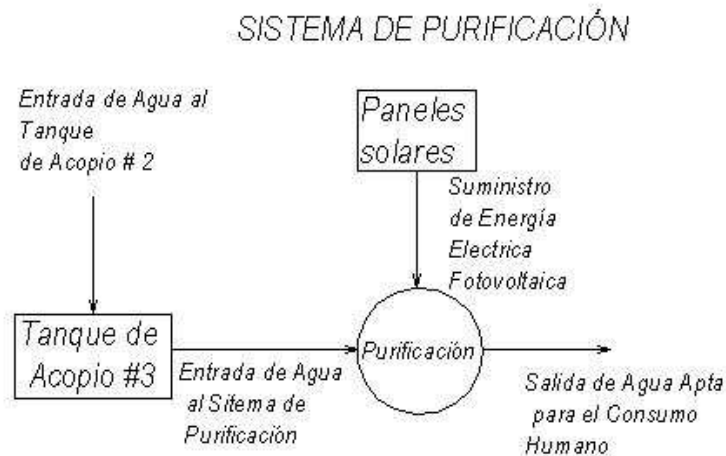
La primera fase de este proceso es observar la calidad del agua a través del vaso de muestreo, el agua del tanque # 2 se hace recircular a través de este dispositivo.

El subsistema de purificación cuenta con un tanque de acopio (# 3). Este tanque tiene 2 sensores, uno para controlar el nivel y el otro el abastecimiento automático del mismo. Dentro de este tanque se encuentra una bomba sumergible de rotor helicoidal que hace circular el agua por un circuito en el cual van a ir alojados los dispositivos para la purificación del agua. En este circuito se encuentran alojados una válvula reductora de presión y un manómetro para verificar la presión de entrada, luego el agua se hace pasar a través de una lámpara ultravioleta que es la encargada de eliminar la parte biológica (microorganismos) presente en el agua (desinfección). Esta lámpara cuenta con una unidad de control y un sensor que mide la densidad del agua; dependiendo de esta señal, se abre una electroválvula para permitir que el agua siga a la siguiente etapa.

En la siguiente etapa se hace pasar el agua por unos filtros de carbón activado, los cuales absorben la parte química presente en el agua (filtración), obteniendo así, finalmente agua potable.

La energía eléctrica para que estos dispositivos funcionen se proporciona a través de módulos solares, los cuales están instalados en el techo sobre estructura de aluminio. Para garantizar el suministro de energía en todo momento, se almacena ésta en un conjunto de baterías.

Fig. 2. Diagrama de Bloques del Sistema de Purificación



### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. PURIFICACIÓN DEL AGUA

Purificación es un proceso por el cual se eliminan o se modifican las propiedades físicas y químicas del agua para ajustarlas a niveles aptos para consumo humano. Estas propiedades son:

*Tabla 1. Propiedades Físicas, Químicas y Microbiológicas del Agua Potable*

Propiedades Físicas	Valor
Turbiedad máxima	10 (escala de sílice)
Olor	Inodora
Sabor	Agradable
Color Máximo	20 (escala platino-cobalto)
Temperatura	10 a 150°C
PH	de 6 a 8
Propiedades Químicas	Valor (ppm)
Nitrógeno (N) Amoniacal	0.05
Nitrógeno (N) de Nitritos (con Análisis Bacteriológico Aceptable)	5.00
Oxígeno	3.00
Cloruro	250
Sulfatos	250
Magnesio	125
Zinc	15
Cobre	3.00
Hierro y Manganeseo	0.03
Plomo	0.10
Arsénico	0.05
Selenio	0.05
Cromo Hexavalente	0.05
Compuestos fenolitos	0.001
Cloro libre, en aguas cloradas, no menos de:	0.20
Propiedades microbiológicas	Valor
Rec Total de Aerobios Mesófilos	Hasta 100 UFC / 100ml
Coliformes Totales / 100ml	0 UFC / 100 ml
Coliformes Fecales 45°C	0 UFC / 100 ml
Escherichiae Coli	AUSENTE

*Fuente: Propiedades del agua [en línea] México: Oaxaca, 1999 [Consultado 12-02-05]. Disponible en Internet: [www.oaxaca02.htm](http://www.oaxaca02.htm)*

### **3.1.1. Pasos de el Proceso de Purificación**

Este consta de los siguientes pasos:

#### **➤ Captación**

Puede ser de aguas superficiales (ríos, lagos y diques) y se toma directamente a través de canales. También puede ser de aguas subterráneas, su captación es a través de pozos, con sistemas mecánicos de bombeo o de forma manual.

*Fig. 3. Canales de Captación del Agua*



*Fuente: Potabilización [en línea] Mendoza- Argentina: Osm, 2002 [Consultado 13-02-05]. Disponible en Internet: [www.osm.com.ar/html/Potabilizacion.htm](http://www.osm.com.ar/html/Potabilizacion.htm)*

#### **➤ Presedimentación y Sedimentación**

Esta etapa se realiza en piletas diseñadas con secciones escalonadas o placas, con el fin de retener sólidos tanto ligeros como pesados. El agua pasa a la otra etapa por rebose. Fig. 4.

*Fig. 4. Tanques de Presedimentación y Sedimentación del Agua*



*Fuente: Potabilización [en línea] Mendoza- Argentina: Osm, 2002 [Consultado 13-02-05]. Disponible en Internet: [www.osm.com.ar/html/Potabilizacion.htm](http://www.osm.com.ar/html/Potabilizacion.htm)*

En algunas plantas industriales de tratamiento de agua, se suele adicionar en esta etapa compuestos químicos como provocar la coagulación y la floculación de los sólidos. La coagulación es un proceso que consiste en añadir productos químicos como el sulfato de aluminio, el cloruro férrico o polielectrolitos a las aguas contaminadas; esto modifica las características superficiales de los sólidos en suspensión de modo que se adhieren los unos a los otros y precipitan. La floculación provoca la aglutinación de los sólidos en suspensión. Ambos procesos eliminan más del 80% de los sólidos en suspensión.<sup>1</sup>

### ➤ **Filtración**

Este proceso consiste en separar los sólidos suspendidos en el fluido, haciéndolo pasar a través de un medio poroso (filtro).

Por su funcionamiento los filtros pueden clasificarse en:

- **Filtros de Cerámica:** Retienen partículas muy pequeñas porque sus poros son muy finos; están impregnados de plata iónica para evitar el desarrollo de colonias de microorganismos.
- **Filtros de Carbón Activado:** El carbón activado se puede preparar a partir de diversos materiales: carbón, madera, cáscaras de nueces, turba y petróleo: Se transforma en carbón "activado" cuando es sometido a altas temperaturas (800 a 1000°C) en la ausencia de oxígeno. El resultado de este proceso es la creación de millones de poros microscópicos en la superficie del carbón que atraen, capturan y rompen las moléculas de contaminantes orgánicos e inorgánicos. Es eficiente en la eliminación del cloro, el mal olor, los sabores desagradables y en la retención de insecticidas, pesticidas y herbicidas; deben cambiarse cada cinco meses para evitar su saturación y contaminación con microorganismos.
- **Filtros de Ósmosis Inversa:** Consisten de una membrana semipermeable para separar el agua de los sólidos y eliminar las sustancias orgánicas, los virus y las bacterias disueltas en ella. Puede eliminar aproximadamente el 95% de los sólidos disueltos totales (SDT) y el 99% de las bacterias. Las membranas sólo dejan pasar las moléculas de agua, atrapando incluso las sales disueltas. Durante la operación, la misma agua limpia la membrana.

### ➤ **Desinfección**

Es el último paso y en este proceso se eliminan los microorganismos presentes en el agua empleando agentes químicos, como cloro, ozono, yodo, plata iónica o coloidal; o físicos, como calor o luz UV, a un nivel que no represente peligro para la salud humana (la NOM-127-SSA-1994 establece los límites permisibles de calidad).<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Potabilización [en línea] Mendoza- Argentina: Osm, 2002 [Consultado 13-02-05]. Disponible en Internet: [www.osm.com.ar/html/Potabilizacion.htm](http://www.osm.com.ar/html/Potabilizacion.htm)

<sup>2</sup> Salud Ambiental y Agua para Uso y Consumo Humano [en línea] México D. F.: Salud Ambiental, 2004 [Consultado 15-02-05]. Disponible en Internet: [www.salud.gob.unidades/cdi/nom/127](http://www.salud.gob.unidades/cdi/nom/127)

Algunos de los métodos de desinfección son:

- **Desinfección por Ebullición:** Es una forma sencilla y económica que elimina las bacterias hirviendo el agua de 15 a 30 minutos<sup>3</sup>. Su desventaja radica en la concentración de minerales disueltos debido a la vaporización del agua.
- **Desinfección con Cloro:** Es un método rápido, económico y eficaz para eliminar las bacterias. Consiste en agregar cloro líquido que al liberar oxígeno mata los agentes patógenos: bacterias anaeróbicas (bacterias que no pueden vivir con oxígeno).
- **Desinfección por Ozono:** El ozono es un gas que descompone los organismos vivos sin dejar residuos químicos que puedan dañar la salud o alterar el sabor del agua. Este sistema reduce la turbiedad, el mal olor y sabor del agua, elimina las bacterias causantes de enfermedades, inactiva virus y otros microorganismos que el cloro no puede destruir.
- **Desinfección por Luz Ultravioleta (UV):** Previene, protege y desinfecta el agua sin alterar sus propiedades físicas, controlando la propagación de microorganismos patógenos (virus y bacterias) para evitar enfermedades.

El sistema que se diseñará para el proceso de purificación del agua con uso de energía solar en este proyecto involucra la desinfección por luz ultra violeta (UV); por lo tanto se profundizará más sobre el tema.

La luz ultravioleta es parte del espectro electromagnético de radiación la cual también es emitida por el sol (ver Fig. 5). Está situada entre las bandas de rayos X y la luz visible, con longitudes de onda que van desde 180 hasta 400 nanómetros (nm).

La luz ultravioleta, es emitida en tres diferentes bandas UV-A, UV-B y UV-C. Así pues, la radiación con mayor efecto germicida se encuentra entre las bandas UV-C Y UV-B, la cual corresponde a 260 nm<sup>4</sup>.

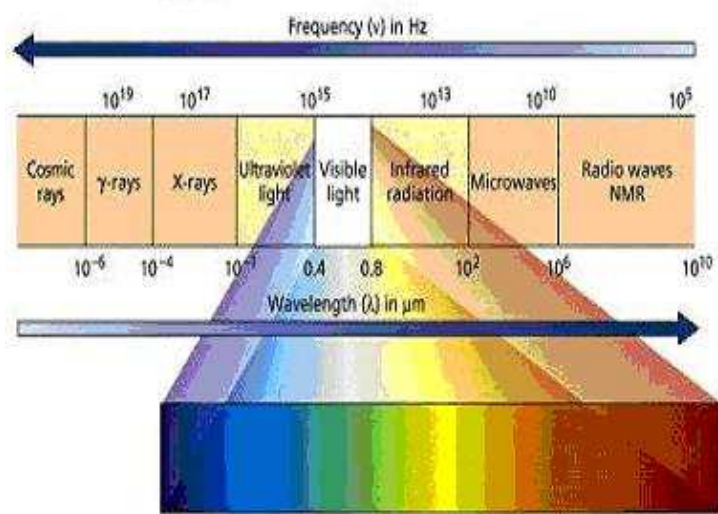
Nota: un millón de nanómetros es equivalente a un milímetro o micra ( $\mu\text{m}$ ).

---

<sup>3</sup> *Día Mundial del Agua [en línea] México D. F.: Profeco, 2003 [Consultado 23-02-05]. Disponible en Internet: [www.profeco.gob.mx/html/revista/publicaciones/adelantos](http://www.profeco.gob.mx/html/revista/publicaciones/adelantos).*

<sup>4</sup> *Desinfección de Agua con Luz Ultravioleta [en línea] México: Liliana serrano, 2001 [Consultado 28-04-05]. Disponible en Internet: <http://mx.geocities.com/ionopura/3-4-02diaz.pdf>*

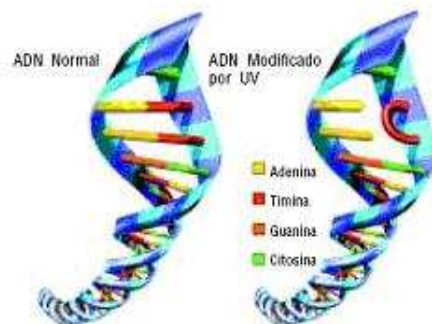
Fig. 5. Espectro Electromagnético de Radiación



Fuente: *Desinfección de Agua con Luz Ultravioleta* [en línea] México: Liliana serrano, 2001 [Consultado 28-04-05]. Disponible en Internet: <http://mx.geocities.com/ionopura/3-4-02diaz.pdf>

Una longitud de onda de 254 nm generada por emisores monocromáticos (presión baja) proporcionan la máxima efectividad germicida, la unidad de UV que se va a utilizar presenta un rango de longitud de onda entre 240 nm y 260 nm, en el cual se inactivan los cinco principales grupos de microorganismos (virus, bacterias, hongos, algas, y protozoos)<sup>5</sup>, o sea que, cuando estos organismos se exponen a la radiación UV, ésta penetra la pared celular llegando hasta el núcleo donde se encuentra la información genética, allí destruye la cadena de ADN e impide su reproducción (ver Fig. 6).

Fig. 6. Secuencias de ADN Normal y Modificado



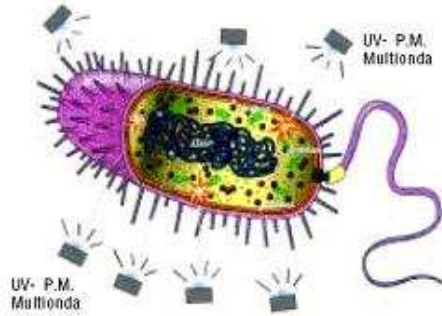
Fuente: *Desinfección de Agua con Luz Ultravioleta* [en línea] México: Liliana serrano, 2001 [Consultado 28-04-05]. Disponible en Internet: <http://mx.geocities.com/ionopura/3-4-02diaz.pdf>

<sup>5</sup> *Desinfección de Agua con Luz Ultravioleta* [en línea] México: Liliana serrano, 2001 [Consultado 28-04-05]. Disponible en Internet: <http://mx.geocities.com/ionopura/3-4-02diaz.pdf>



Aunque la secuencia genética es alterada generalmente a 254 nm, se encuentran ventajas adicionales en los emisores multi-onda (presión media), porque proporcionan el intervalo completo del espectro UV, que alteran las enzimas del citoplasma, y proteínas de la pared celular (ver Fig. 7).

Fig. 7. Efecto de UV de Presión Media en un Microorganismo

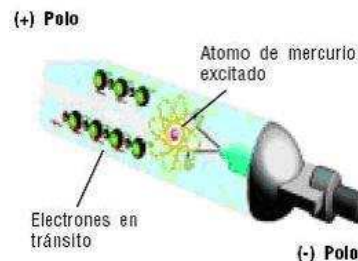


Fuente: *Desinfección de Agua con Luz Ultravioleta [en línea] México: Liliana serrano, 2001*  
[Consultado 28-04-05]. Disponible en Internet: <http://mx.geocities.com/ionopura/3-4-02diaz.pdf>

¿Cómo se genera la luz UV, de forma distinta al sol?

Es emitida por tubos de cuarzo que contienen vapor de mercurio (emisor). Cuando se induce una corriente eléctrica en los polos, se genera un arco voltaico que ioniza a los átomos de este metal (Hg), en donde los electrones incrementan su energía hasta que son convertidos en fotones de luz UV (ver Fig. 8).

Fig. 8. Generación de Luz UV



Fuente: *Desinfección de Agua con Luz Ultravioleta [en línea] México: Liliana serrano, 2001*  
[Consultado 28-04-05]. Disponible en Internet: <http://mx.geocities.com/ionopura/3-4-02diaz.pdf>

La sensibilidad de los microorganismos a la radiación UV varía, ya que algunos tienen mayor resistencia y no se destruyen en la misma proporción. No obstante, teniendo en claro el microorganismo que se desea inactivar, es posible establecer la dosis adecuada o sea la intensidad de energía aplicada durante cierto tiempo de exposición. Esta dosis se puede determinar por la ecuación:

$$D_{10} = \frac{(I)(t_{\text{exp}})}{A_{\text{rad}}} = \frac{(mW)(\text{seg})}{\text{cm}^2}$$

Dónde:

- $D_{10}$  = Dosis, expresada en segundos miliWatt por centímetro cuadrado (mWseg/cm<sup>2</sup>)
- $I$  = Intensidad UV [mW]
- $t_{exp}$  = Tiempo de exposición [seg]
- $A_{rad}$  = Área de irradiación [cm<sup>2</sup>]

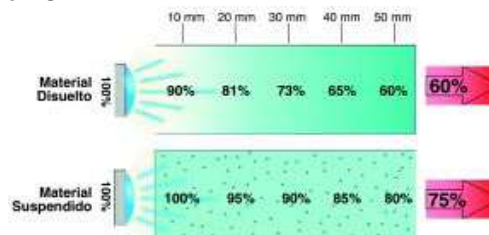
### ➤ **Parámetros de Desinfección**

La eficiencia en desinfección de los sistemas ultravioleta está afectada por diferentes parámetros: el flujo a tratar, la calidad del agua, la concentración de microorganismos y su transmitancia o sea la cantidad de sólidos disueltos y suspendidos en el agua determinantes de su color y turbiedad.

- **Flujo:** Se debe conocer si el caudal a tratar está siendo transportado por una tubería o por un canal abierto, y si esta conducción se lleva a cabo a presión o por gravedad.
- **Calidad del Agua:** Se deben valorar las posibles interferencias que impidan una penetración efectiva de la luz y la existencia de sustancias incrustantes en el agua porque se pueden adherir al emisor.
- **Concentración de Microorganismos:** Se debe analizar este parámetro para fijar la dosis y si es necesario censar la concentración y tipo de microorganismos en el influente.
- **Transmitancia:** Es el parámetro más importante del proceso porque el éxito de la desinfección radica en la eficiencia de penetración.

Cuanto mayor sea la transmitancia del agua, más alta será la penetración de luz UV y mayor será la cantidad de agua que se puede desinfectar por unidad de tiempo, o sea que, cuando la transmitancia del agua es muy baja, el diámetro de la cámara de contacto debe ser menor para proporcionar una irradiación homogénea en toda el agua (ver Fig. 9).

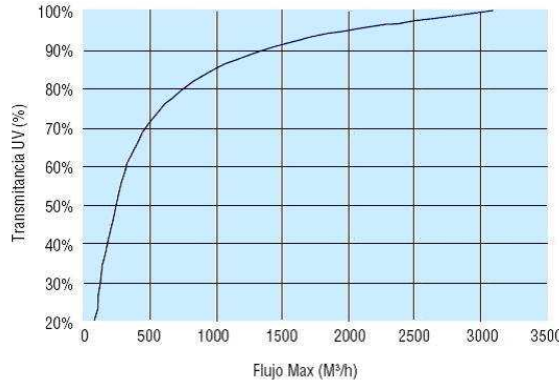
Fig. 9. Efecto en la Transmisión UV



Fuente: Desinfección de Agua con Luz Ultravioleta [en línea] México: Liliana serrano, 2001  
[Consultado 28-04-05]. Disponible en Internet: <http://mx.geocities.com/ionopura/3-4-02diaz.pdf>

Las transmitancias que se contemplan comúnmente para diferentes calidades de agua. Estas se pueden observar en la siguiente gráfica (ver Fig. 10).

*Fig. 10. Tratamiento Vs Transmitancia*



*Fuente: Desinfección de Agua con Luz Ultravioleta [en línea] México: Liliana serrano, 2001 [Consultado 28-04-05]. Disponible en Internet: <http://mx.geocities.com/ionopura/3-4-02diaz.pdf>*

Dónde:

- 100% de transmitancia para agua ultra pura (efluentes de osmosis inversa, destilación o des-ionización).
- 85-92% de transmitancia para agua potable (efluentes de procesos de purificación como: coagulación-floculación, filtración granular, carbón activado, etc.)
- 55-65% de transmitancia para agua residual tratada, (efluentes de procesos biológicos primarios y secundarios como sedimentación.)

#### ➤ **Variantes en los Sistemas UV**

Para poner en contacto al agua con la luz UV se usa un accesorio llamado cámara de desinfección, que conduce el líquido cerca de los emisores.

Existen dos diseños de cámaras de desinfección: el de flujo paralelo y el de flujo transversal (ver Fig. 11). Ambos tienen un buen desempeño, si se le da una aplicación adecuada.

Fig.11. *Sistemas en Paralelo y Transversal*



*Fuente: Desinfección de Agua con Luz Ultravioleta [en línea] México: Liliana serrano, 2001 [Consultado 28-04-05]. Disponible en Internet: <http://mx.geocities.com/ionopura/3-4-02diaz.pdf>*

El diseño transversal se emplea para grandes caudales de agua residual o potable, mientras que la cámara de flujo paralelo, que se utiliza en aplicaciones de bajos caudales de agua (preferentemente potable) porque las pérdidas de presión no afectan el tratamiento.

➤ **Ventajas y Beneficios de las Lámparas Ultravioleta (UV)**

- Tiene bajo costo de inversión y funcionamiento; además, presenta mínima depreciación.
- Es de fácil instalación, es silencioso, de bajo consumo de energía y tiene una vida útil superior a 20 años [5].
- Es fácilmente adaptable al caudal y condiciones variables del agua.
- Su manipulación es sencilla, limpia y segura; no produce polución ni contaminación ambiental y no existen riesgos ni incomodidades para su manipulación.
- No posee partes mecánicas, por lo tanto no requiere mantenimiento, excepto limpieza del panel.
- Es resistente a condiciones climáticas extremas: (granizo, viento, temperatura y humedad)
- No daña ni presenta acción corrosiva sobre ninguna de las instalaciones del sistema.
- Permite aumentar la potencia instalada mediante la incorporación de nuevos módulos.
- No se requieren químicos consumibles ni tóxicos. No existe riesgo de sobredosis.
- No hay posibilidad de formación de compuestos secundarios perjudiciales.
- Hay destrucción instantánea y segura de todos los microorganismos.
- No precisa tiempo de contacto: el efecto de desinfección es inmediato.
- No altera ni modifica la composición química del agua, ni su olor y sabor característico.
- Se perfila como la tecnología con mayor aplicación en el futuro.

La lámpara germicida UV, tiene una vida útil de aproximadamente 7,500 a 10,000 horas, es recomendable cambiarla entre los 10 y los 12 meses de operación porque su acción germicida puede disminuir notablemente su eficiencia y no alcanzar el nivel de purificación adecuado <sup>6</sup>.

### **3.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO**

Es el conjunto de dispositivos empleado para elevar, transferir o comprimir líquidos.

Para diseñar este sistema se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- Necesidades y limitaciones del sistema
- El fluido y sus características
- Pérdidas de energía por fricción en el conducto
- Pérdidas de energía en accesorios
- Tipos de bombas compatibles con los sistemas fotovoltaicos (FV)
- Eficiencia Mecánica de una Bomba
- Características de operación y ubicación del sistema.

#### **3.2.1. Necesidades y Limitaciones del Sistema**

El conocimiento de las necesidades específicas y reales del sistema permite encontrar la mejor solución desde el punto de vista económico y de ingeniería.

Determinar el alcance o las limitaciones del sistema permite establecer el marco de referencia por el cual se hará el diseño. Esto da claridad al ingeniero y al usuario de lo que el sistema puede o no hacer.

#### **3.2.2. El Fluido y sus Características**

Al conocer las especificaciones del fluido (densidad, viscosidad dinámica y cinemática, peso específico, velocidad) se puede determinar el tipo de bomba a utilizar, predecir el comportamiento del fluido y el material del conducto del fluido.

#### **3.2.3. Pérdidas de Energía por Fricción en el Conducto**

A medida que un fluido fluye por un conducto, ocurren pérdidas de energía debido a la fricción interna del fluido. Para determinar estas pérdidas se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

---

<sup>6</sup> Desinfección de Agua con Luz Ultravioleta [en línea] México: Liliana serrano, 2001 [Consultado 28-04-05]. Disponible en Internet: <http://mx.geocities.com/ionopura/3-4-02diaz.pdf>

### ➤ **Rapidez de Flujo de Fluido<sup>7</sup>**

Es la cantidad de flujo que pasa en un sistema por unidad de tiempo, se puede definir de tres maneras diferentes:

- Rapidez de flujo de volumen (Q): Es el volumen del flujo del fluido que cruza por una sección por unidad de tiempo.
- Rapidez de flujo de peso (W): Es el peso del flujo del fluido que cruza por una sección por unidad de tiempo.
- Rapidez de flujo de masa (M): Es la masa del flujo del fluido que cruza por una sección por unidad de tiempo.

La rapidez del flujo generalmente estará dada según la necesidad del sistema.

Todas las unidades que se van a utilizar están en el Sistema Internacional.

En este caso vamos a utilizar la rapidez de flujo de volumen, el cual se calcula mediante la ecuación:

$$Q = VA \quad \left[ \frac{m^3}{s} \right] \quad (3-1)$$

Dónde:

$Q$  = Rapidez del flujo de volumen

$V$  = Velocidad promedio del fluido

$A$  = Área de la sección

La velocidad promedio para un fluido se debe mantener dentro de unos límites, en las tuberías la velocidad recomendada no debe ser inferior a 0,6m/s porque comienzan a formarse depósitos de arena, pero tampoco mayores a 5 m/s.

### ➤ **Conservación de Energía**

Esta ley nos dice que la energía no se crea ni se destruye, sino que se transforma de un tipo a otro. En el análisis del flujo de conductos existen tres tipos de energía, las cuales se muestran a continuación:

- **Energía Potencial:** Es la energía debida a la elevación y esta dada por:

$$PE = wz \quad [J] \quad \text{Donde 1Joule} = 1Nm \quad (3-2)$$

- **Energía Cinética:** Es la energía debida a su velocidad y esta dada por:

---

<sup>7</sup> MOTT, Robert L. *Mecánica de Fluidos Aplicada*. 4 ed. México: Prentice hall, 1996. P146

$$KE = \frac{wv^2}{2g} \quad [J] \quad (3-3)$$

- **Energía de Flujo o de Presión:** Es la cantidad de trabajo necesario para mover un elemento de un fluido a través de una sección en contra de la presión. Esta dada por:

$$FE = \frac{wp}{\gamma} \quad [J] \quad (3-4)$$

Dónde se hace referencia a las características y propiedades del fluido.

w = Peso

z = Elevación

$\gamma$  = Peso específico

p = Presión

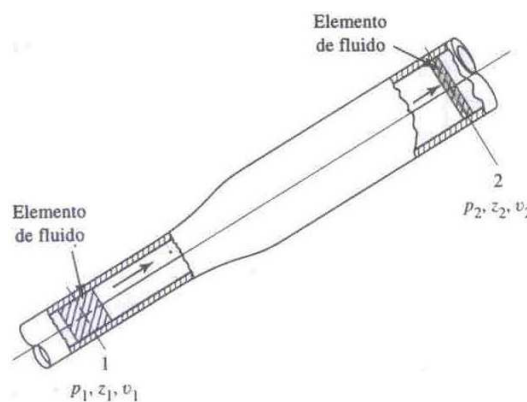
v = Velocidad

Entonces la energía total (E) que posee un elemento de fluido será la suma de estas tres energías:

$$E = \frac{wp}{\gamma} + wz + \frac{wv^2}{2g} \quad [J] \quad (3-5)$$

De acuerdo a la ley de conservación de energía y a la figura 12 y eliminando el peso de todos los términos, tenemos que:

Fig. 12.. Elementos de Fluidos Utilizados en la Ecuación de Bernoulli



Fuente: MOTT, Robert L. Mecánica de Fluidos Aplicada. 4 ed. México : Prentice hall, 1996. P 157

$$E_1 = E_2$$

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad \left[ \frac{Nm}{N} = m \right] \quad (\text{Ecuación de Bernoulli}) \quad (3-6)$$

Como en muchos sistemas se presentan pérdidas y/o adiciones de energía, entonces existe una ecuación general de energía, la cual es un complemento de la ecuación de Bernoulli y se presenta a continuación:

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_F = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad [m] \quad (3-7)$$

$h_A$  = Energía añadida o agregada al fluido mediante un dispositivo mecánico.

$h_R$  = Energía removida o retirada del fluido mediante un dispositivo mecánico.

$h_F$  = Pérdidas de energía por parte del sistema, debidas a fricción en los conductos o pérdidas menores debidas a la presencia de válvulas o conectores.

Cada término representa la cantidad de energía por unidad de peso de fluido que fluye en el sistema. En el sistema Internacional  $\frac{N.m}{N}$  o metros.

### ➤ **Pérdidas de Energía<sup>8</sup>**

Las pérdidas de energía debido a la fricción en conductos se pueden determinar mediante la ecuación de Darcy ( $h_L$ ):

$$h_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad [m] \quad (3-8)$$

Dónde:

$h_L$  = Pérdidas de energía debido a la fricción

$L$  = Longitud de la corriente del flujo

$D$  = Diámetro interno del conducto

---

<sup>8</sup> Ibid., P 237



$v$  = Velocidad promedio del fluido

$f$  = Factor de fricción

Para determinar el factor de fricción  $f$  existen 2 métodos los cuales son:

- Utilizando el diagrama de Moody (Conocer número de Reynolds y rugosidad relativa del material del conducto).
- Mediante la ecuación de P.K. Swamme y A.K. Jain.

En el método que se utiliza el diagrama de Moody se determina el número de Reynolds ( $N_R$ ) (número adimensional) para determinar el tipo de flujo:

Si  $N_R < 2000$ , el flujo es laminar

Si  $2000 < N_R < 4000$ , el flujo esta en transición

Si  $N_R > 4000$ , el flujo es turbulento

$$N_R = \frac{VD\rho}{\mu} = \frac{VD}{\nu} \quad [Adim.] \quad (3-9)$$

Dónde:

$V$  = Velocidad del fluido

$D$  = Diámetro interno del conducto

$\rho$  = Densidad del fluido

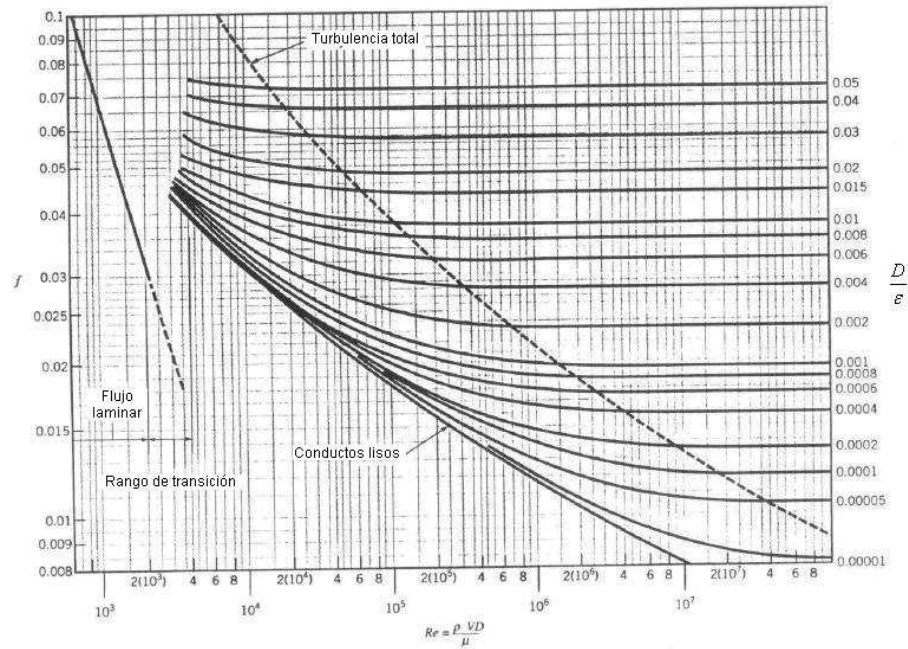
$\mu$  = Viscosidad dinámica del fluido

$\nu$  = Viscosidad cinemática del fluido

Con el valor del número de Reynolds y el de rugosidad relativa ingresamos al diagrama de Moody (Fig.13) para encontrar el factor de fricción  $f$  y poder determinar las pérdidas por fricción.

Se debe localizar el número de Reynolds sobre la abscisa del diagrama, proyectarlo verticalmente hasta que alcance la curva de la rugosidad relativa correspondiente, para después proyectarse horizontalmente hacia la izquierda y determinar el valor de  $f$ .

Fig. 13. Diagrama de Moody



Fuente: MOTT, Robert L. *Mecánica de Fluidos Aplicada*. 4 ed. México : Prentice hall, 1996. P 241

Para el otro método este valor de  $f$  también se puede resolver de forma analítica (flujo turbulento) mediante la siguiente ecuación que fue desarrollada por P.K. Swamme y A.K. Jain que es:

$$f = \frac{0,25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3,7 \left( \frac{D}{\varepsilon} \right)} + \frac{5,74}{N_R^{0,9}} \right) \right]^2} \quad [\text{Adim.}] \quad (3-10)$$

Donde  $\varepsilon$  = Rugosidad absoluta

$$\text{Rugosidad relativa} = \frac{D}{\varepsilon} \quad [\text{Adim.}] \quad (3-11)$$

### 3.2.4. Pérdidas de Energía en Accesorios<sup>9</sup>

Suceden cuando hay un cambio en la sección cruzada de la trayectoria del flujo, en la dirección del flujo o cuando la trayectoria del flujo se encuentra obstruida; las cuales se calculan mediante la siguiente ecuación:

<sup>9</sup> Ibid., P 267

$$h_{L2} = k \frac{V^2}{2g} \quad [m] \quad (3-12)$$

Donde k es el coeficiente de resistencia y se determina de acuerdo a la pérdida.

Entre las pérdidas menores se tienen:

- **Contracción Súbita** (Reducción instantánea del diámetro): Se ocasiona una turbulencia la cual genera una pérdida de energía que depende del cociente entre los diámetros de los dos conductos y de la magnitud de la velocidad promedio del fluido en el conducto de menor diámetro.
- **Por Accesorios:** Depende del tipo de accesorio, el coeficiente K se determina de manera diferente que el otro tipo de pérdidas menores, es decir de acuerdo a la siguiente relación:

$$K = \frac{L_e}{D} \cdot f_T \quad [Adim.] \quad (3-13)$$

Donde  $\frac{L_e}{D}$  = Proporción de longitud equivalente (depende del tipo de accesorio)

Tabla 2. Resistencia en Válvulas y Junturas expresada como Longitud Equivalente en Diámetros del Conducto

Tipo	Longitud equivalente en diámetros de conducto, $L_e/D$
Válvula de globo—completamente abierta	340
Válvula de ángulo—completamente abierta	150
Válvula de compuerta—completamente abierta	8
—3/4 abierta	35
—1/2 abierta	160
—1/4 abierta	900
Válvula de verificación—tipo giratorio	100
Válvula de verificación—tipo de bola	150
Válvula de mariposa—completamente abierta	45
Codo estándar de 90°	30
Codo de radio de largo de 90°	20
Codo de calle de 90°	50
Codo estándar de 45°	16
Codo de calle de 45°	26
Codo de devolución cerrada	50
Te estándar—con flujo a través de un tramo	20
Te estándar—con flujo a través de una rama	60

Fuente: MOTT, Robert L. *Mecánica de Fluidos Aplicada*. 4 ed. México: Prentice hall, 1996. P 283

$f_T$  = Factor de fricción en el conducto (depende del diámetro)

Tabla 3. Factor de Fricción en Fluidos de Flujo Turbulento

Tamaño de conducto nominal (pulg)	Factor de fricción, $f_T$	Tamaño de conducto nominal (pulg)	Factor de fricción, $f_T$
$\frac{1}{2}$	0.027	4	0.017
$\frac{3}{4}$	0.025	5	0.016
1	0.023	6	0.015
$1\frac{1}{4}$	0.022	8–10	0.014
$1\frac{1}{2}$	0.021	12–16	0.013
2	0.019	18–24	0.012
$2\frac{1}{2}$ , 3	0.018		

Fuente: MOTT, Robert L. *Mecánica de Fluidos Aplicada*. 4 ed. México: Prentice hall, 1996. P 284

En algunos accesorios las pérdidas se determinan según el diferencial de presión entre la entrada y la salida del mismo, a través de la ecuación general de energía.

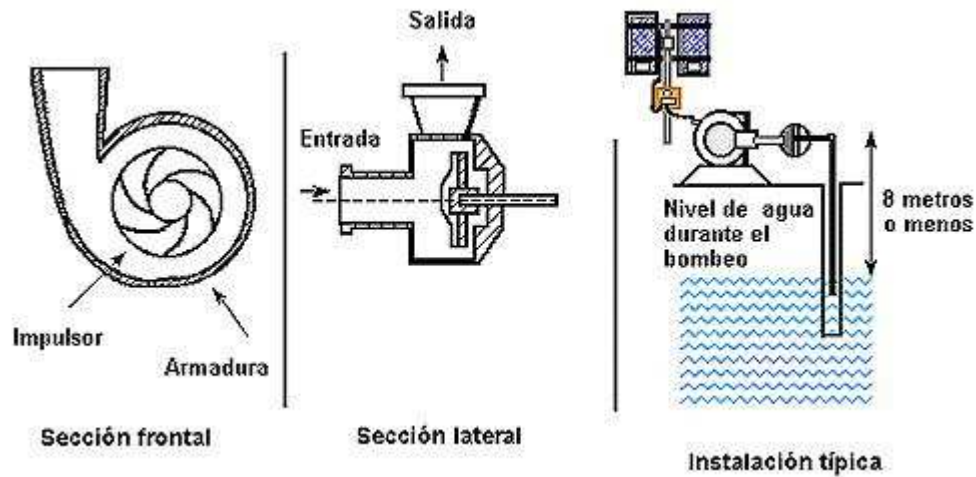
### 3.2.5. Tipos de Bombas Compatibles con los Sistemas Fotovoltaicos (FV)

Las bombas tradicionales han sido desarrolladas para fuentes de potencia constante. La potencia que producen los módulos FV es directamente proporcional a la disponibilidad de la radiación solar. La variación en la disponibilidad de potencia, causada por los cambios de posición del sol durante el día, afecta también la disponibilidad de potencia para la bomba. Se han diseñado bombas especiales para la electricidad fotovoltaica, que se clasifican de acuerdo a su mecanismo en centrífugas y volumétricas.

- **Bombas Centrífugas o Rotativas:** Poseen un rotor giratorio de paletas sumergido en el líquido. El líquido ingresa en la bomba cerca del eje del rotor y las paletas lo arrastran hacia sus extremos a alta presión. El rotor también proporciona al líquido una velocidad relativamente alta que lo transforma en presión, lo arrastra por su eje y la expulsan radialmente, este proceso se efectúa en el difusor (canal en espiral cuya superficie transversal transforma la energía de velocidad en energía de presión). Pueden ser sumergibles o de superficie y su eficiencia depende del número y tipo de impulsores.

Las bombas de succión superficial son instaladas a nivel del suelo, por esta razón se les puede inspeccionar y hacer mantenimiento fácilmente. Se dificulta su funcionamiento adecuado si la profundidad de succión excede los 8 metros. (Fig. 14)

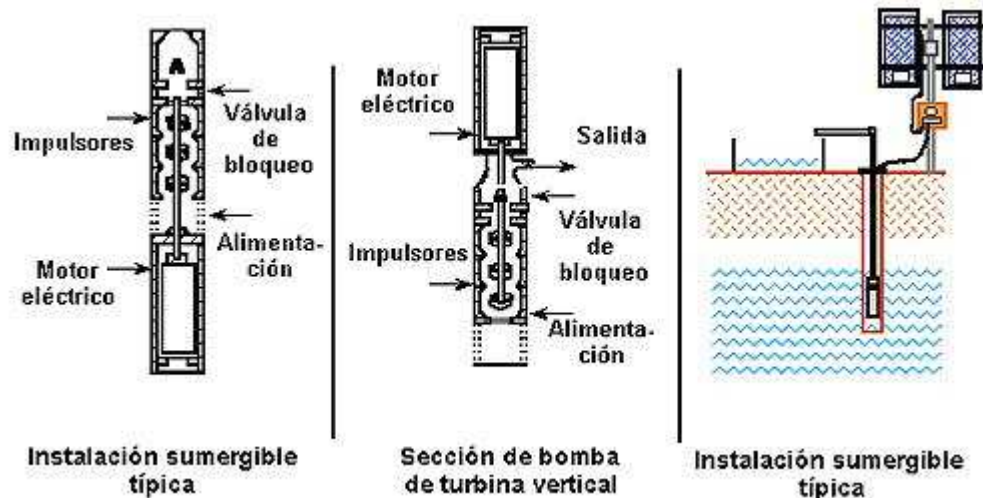
Fig. 14. Esquema de una Bomba Centrífuga Superficial.



Fuente: Bombeo Fotovoltaico [en línea] España: Sandia, 2003 [Consultado 9-04-05]. Disponible en Internet: [www.re.sandia.gov/wp/wpGuia/bombeo.html](http://www.re.sandia.gov/wp/wpGuia/bombeo.html).

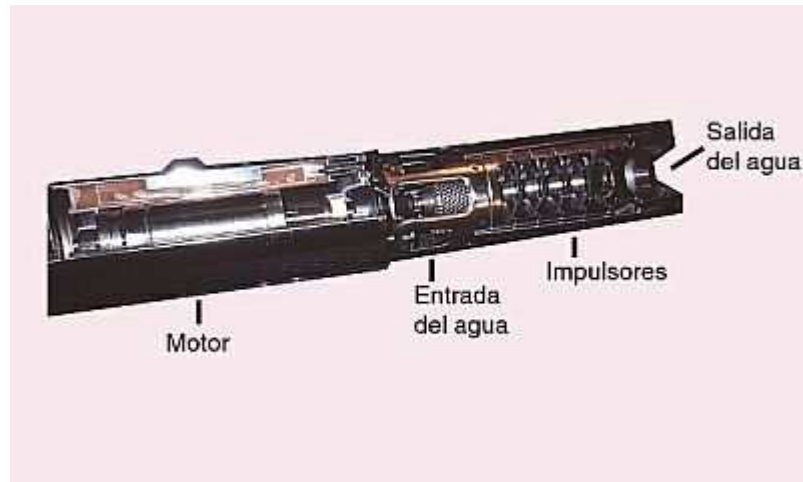
Las bombas centrífugas sumergibles pueden tener el motor acoplado directamente a los impulsores y sumergirse completamente o tener el motor en la superficie y los impulsores completamente sumergidos y unidos por una flecha (eje); cuando tienen varios impulsores se denominan bombas de paso múltiple; algunas están selladas y tienen el aceite de lubricación contenido para evitar contaminación del agua, otras utilizan el agua misma como lubricante; se sobrecalientan al operarse en seco. Ocupan un espacio horizontal mínimo para acomodar el motor vertical y la impulsión. (Figuras 15, 16)

Fig. 15. Esquema de una Bomba Centrífuga Sumergible.



Fuente: Bombeo Fotovoltaico [en línea] España: Sandia, 2003 [Consultado 9-04-05]. Disponible en Internet: [www.re.sandia.gov/wp/wpGuia/bombeo.html](http://www.re.sandia.gov/wp/wpGuia/bombeo.html).

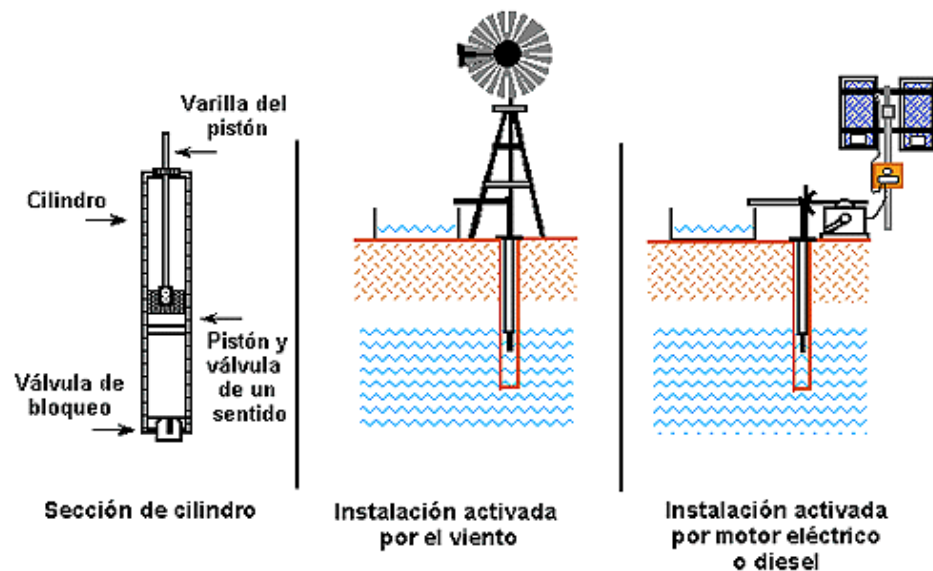
Fig. 16. Vista Interna de una Bomba Sumergible (Grundfos).



Fuente: Bombeo Fotovoltaico [en línea] España: Sandia, 2003 [Consultado 9-04-05]. Disponible en Internet: [www.re.sandia.gov/wp/wpGuia/bombeo.html](http://www.re.sandia.gov/wp/wpGuia/bombeo.html).

- **Bombas Volumétricas ó de Desplazamiento Positivo:** Constan de una pieza giratoria con una serie de aletas que se mueven en una carcasa muy ajustada, el líquido queda atrapado en los espacios entre las aletas y pasa a una zona de mayor presión; son apropiadas para el bombeo de bajos caudales y/o donde existen altas profundidades. (Fig. 17).

Fig. 17 Esquema de una Bomba Volumétrica de Cilindro.



Fuente: Bombeo Fotovoltaico [en línea] España: Sandia, 2003 [Consultado 9-04-05]. Disponible en Internet: [www.re.sandia.gov/wp/wpGuia/bombeo.html](http://www.re.sandia.gov/wp/wpGuia/bombeo.html).



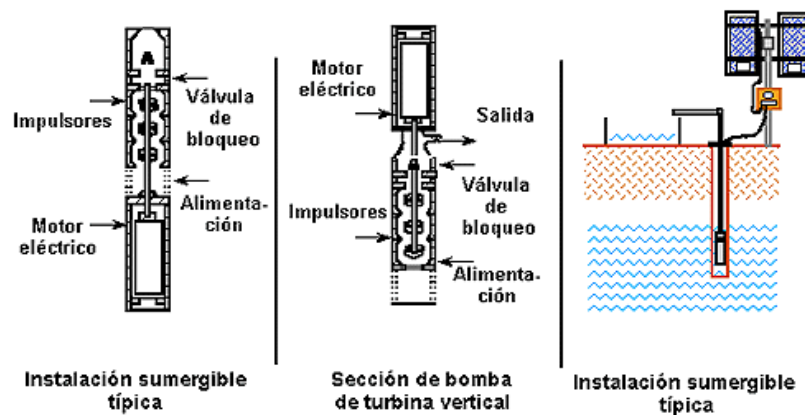
Algunas bombas usan un cilindro y un pistón para transportar paquetes de agua a través de una cámara sellada y otras utilizan un pistón con diafragmas.

- **Bombas de Cilindro:** Su principio de funcionamiento se basa en el movimiento del pistón: cada vez que baja, el agua del pozo entra a su cavidad y cuando éste sube, empuja el agua a la superficie. El uso de la energía eléctrica requerida para hacerla funcionar es restringido porque sólo se aplica durante una parte del ciclo de bombeo. Estas bombas deben estar siempre conectadas a un controlador de corriente para aprovechar al máximo la potencia proporcionada por el arreglo fotovoltaico. Son utilizadas para el bombeo mecánico y son activadas por el viento y por tracción animal o humana.
- **Bombas de Diafragma:** Transportan el agua empleando diafragmas (láminas) de material flexible y resistente: Éstos se fabrican de caucho reforzado con materiales sintéticos, son muy resistentes y pueden conservarse en funcionamiento continuo de dos a tres años.

Las bombas de diafragma son económicas y tienen motor de corriente continua con escobillas.

Existen modelos sumergibles y no sumergibles. (Figuras 18 y 19)

Fig. 18. Esquema de una Bomba de Diafragma Sumergible.



Fuente: Bombeo Fotovoltaico [en línea] España: Sandia, 2003 [Consultado 9-04-05]. Disponible en Internet: [www.re.sandia.gov/wp/wpGuia/bombeo.html](http://www.re.sandia.gov/wp/wpGuia/bombeo.html).

Fig. 19. Bombas de Diafragma no Sumergible (Shurflo).



Fuente: Bombeo Fotovoltaico [en línea] España: Sandia, 2003 [Consultado 9-04-05]. Disponible en Internet: [www.re.sandia.gov/wp/wpGuia/bombeo.html](http://www.re.sandia.gov/wp/wpGuia/bombeo.html).

### 3.2.6. Eficiencia Mecánica de una Bomba<sup>10</sup>

Es la relación entre la potencia transmitida por la bomba al fluido y la potencia suministrada a la bomba, siempre será menor que 1.0 debido a las pérdidas ocasionadas por la fricción mecánica en los componentes de la bomba, la fricción del fluido en la misma y por la turbulencia del fluido.

De acuerdo con la ecuación general de energía se puede determinar la energía agregada al fluido a través de bomba ( $h_A$ ):

$$h_A = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + (Z_2 - Z_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + h_R + h_F \quad [m] \quad (3-14)$$

- **Potencia:** Es la rapidez con que la energía esta siendo transferida, la unidad en el Sistema Internacional (W), donde  $W = \frac{N.m}{s}$ .

Para determinar la potencia agregada al fluido, tenemos que:

$$P_A = h_A W \quad [W] \quad (3-15)$$

Dónde :

$W$  = rapidez del flujo de peso

$\gamma$  = Peso específico del agua

---

<sup>10</sup> Ibid., P 204



$$W = \gamma * Q \left[ \frac{N}{s} \right] \quad (3-16)$$

Entonces la ecuación de la eficiencia mecánica $[\eta]$  quedaría:

$$\eta = \frac{\text{Potencia \_ Añadida \_ al \_ Fluido}}{\text{Potencia \_ Suministrada \_ a \_ la \_ Bomba}} = \frac{P_A}{P_{Requerida}} \quad [\text{Adim.}] \quad (3-17)$$

### 3.2.7. Características de Operación y Ubicación del Sistema.

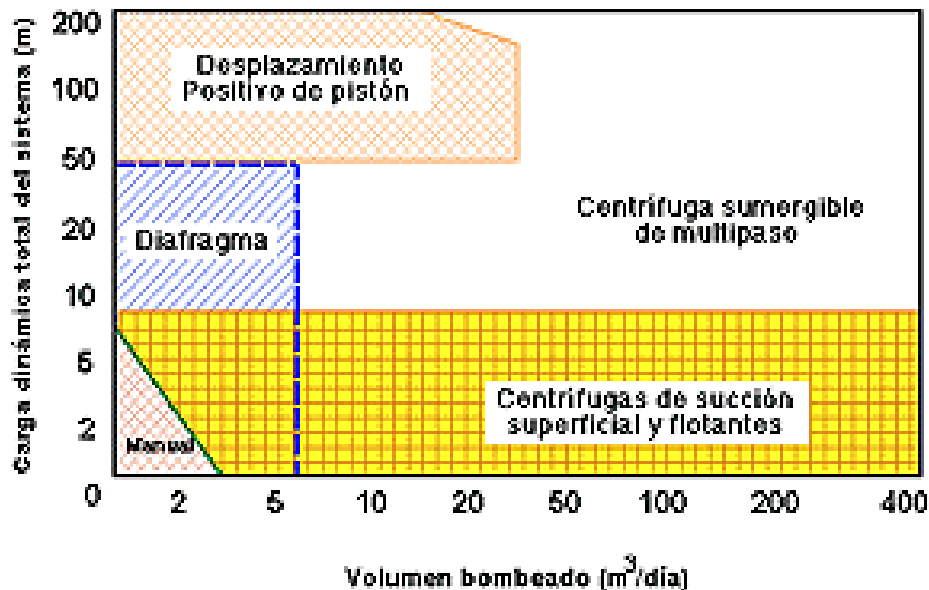
Con base en la carga dinámica y el caudal se seleccionarán el tipo y tamaño de la bomba, y también los conductos adecuados para el transporte del fluido con el cual se va a operar.

### 3.3. SELECCIÓN DE LA BOMBA

La selección de bombas centrífugas y volumétricas se hace porque ofrecen diferentes alternativas para diferentes rangos de aplicación, considerando que la energía de un sistema FV es muy restringida.

La Figura 20 indica el tipo de bomba adecuada que se recomienda según la carga dinámica total del sistema de bombeo y su caudal.

Figura 20. Intervalos Comunes donde se Aplica los Diferentes Tipos de Bombas Solares



Fuente: Bombeo Fotovoltaico [en línea] España: Sandia, 2003 [Consultado 9-04-05]. Disponible en Internet: [www.re.sandia.gov/wp/wpGuia/bombeo.html](http://www.re.sandia.gov/wp/wpGuia/bombeo.html).

Para esta aplicación se tomaron bombas de desplazamiento positivo debido a que poseen ciertas ventajas, las cuales se presentan a continuación:

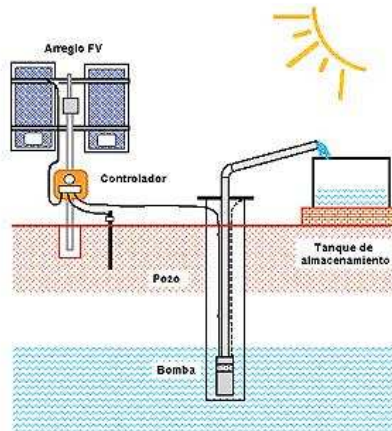
- Comúnmente disponibles.
- Pueden tolerar pequeñas cantidades de arena.
- Utilizan el agua como lubricante.
- Cuentan con motores de CC de velocidad variable o CA.
- Manejan altos flujos.
- Operan a altas cargas dinámicas.
- Tienen un diseño modular que permite obtener más agua al agregar los módulos fotovoltaicos.

A continuación se muestran los componentes de un sistema de bombeo fotovoltaico:

### **3.4. BOMBEO FOTOVOLTAICO**

El sistema está compuesto por un arreglo de módulos FV que se puede montar en un seguidor pasivo; un controlador; un motor de corriente alterna (CA) o de corriente continua (CC) y una bomba centrífuga o volumétrica. Fig. 21.

*Fig. 21. Esquema de una Instalación de un Sistema Fotovoltaico de Bombeo de Agua.*



*Fuente: Bombeo Fotovoltaico [en línea] España: Sandía, 2003 [Consultado 9-04-05]. Disponible en Internet: [www.re.sandia.gov/wp/wpGuia/bombeo.html](http://www.re.sandia.gov/wp/wpGuia/bombeo.html).*

Los sistemas de bombeo FV sin almacenamiento no suministran agua cuando el sol no brilla, por esto es recomendable que el sistema acumule agua o energía para tres días de autonomía.

Almacenar agua en tanques que tienen una vida útil muy larga es más económico que acumular energía en baterías que necesitan sustituirse en un lapso de 5 a 7 años.

El almacenamiento por baterías se justifica cuando la eficiencia máxima del pozo durante las horas de sol es insuficiente para satisfacer las necesidades diarias de agua y cuando se requiere bombear agua durante la noche. El uso de baterías en un sistema de bombeo FV puede reducir su confiabilidad e incrementar su mantenimiento. En conclusión, no es recomendable utilizar baterías en sistemas de bombeo fotovoltaico.

Los módulos son conformados por celdas solares de silicio (o fotovoltaicas). Las cuales son semiconductoras eléctricas debido a que el silicio es un material que posee unas características intermedias entre un conductor y un aislante.

### 3.5. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

#### 3.5.1. Funcionamiento de las Celdas Solares:

Fig. 22. Modelo Bidimensional del Cristal de Silicio

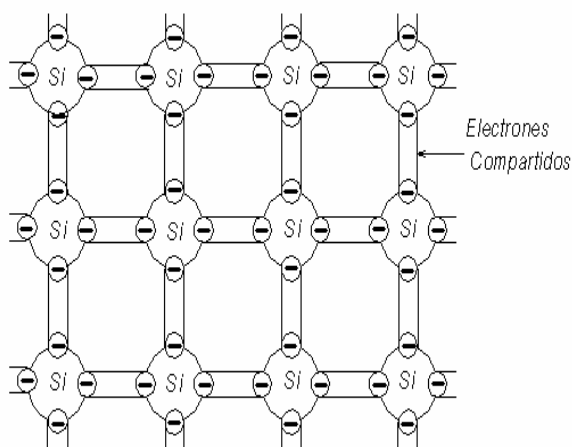
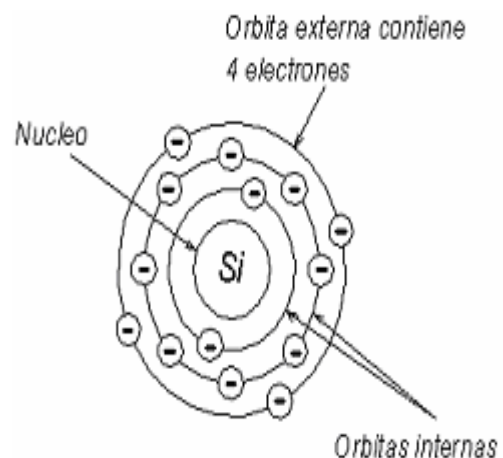


Fig. 23. Átomo de Silicio



Fuente: LOPEZ T., Edilberto. *Aprovechamiento de la Energía solar en un Alumbrado*. Cali. 1984 . P 5  
Trabajo de grado (Ingeniero Electricista) Universidad Autónoma de Occidente. Division de Ingenierías

El cristal de silicio puro no tiene electrones libres y por lo tanto resulta ser un mal conductor eléctrico. Para mejorar su conductividad eléctrica se le agregan porcentajes de otros elementos como lo son el Boro y el Fósforo, este proceso se denomina dopado. Mediante el dopado de silicio con fósforo se obtiene un material con electrones libres o material con portadores de carga negativa (silicio tipo N). Efectuando el mismo proceso, pero agregando Boro en lugar de fósforo, se obtiene un material de características inversas; sin electrones libres o material con cargas positivas o huecos (silicio tipo P). Cada celda solar se compone de una delgada capa de material tipo N y otra de mayor espesor de material tipo P.

Fig. 24. Modelo Bidimensional del Cristal de Silicio Dopada con Boro.

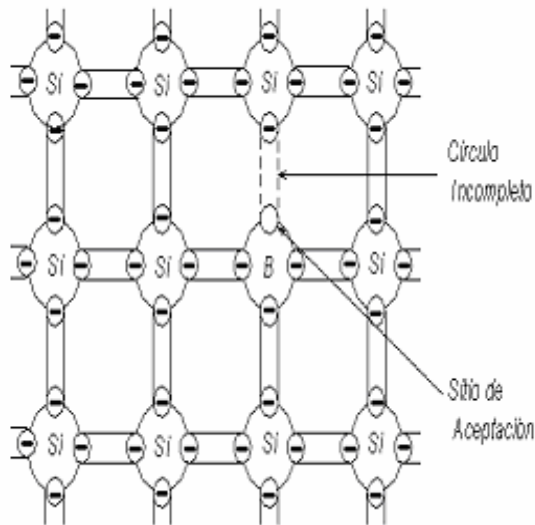
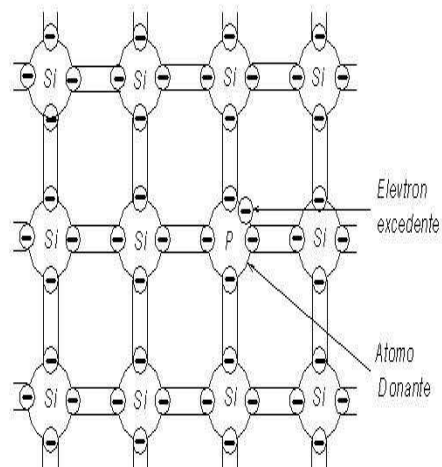


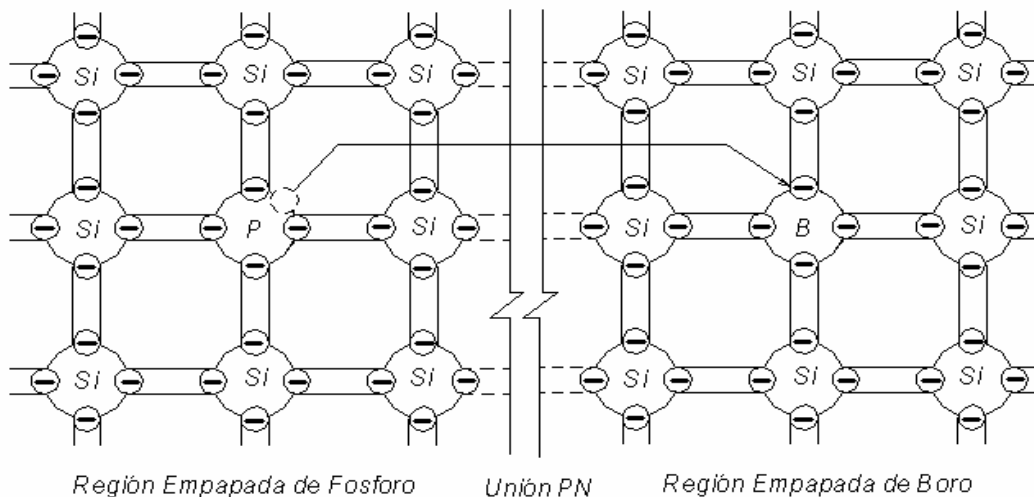
Fig. 25. Modelo Bidimensional del Cristal de Silicio Dopada con Fósforo.



Fuente: LOPEZ T., Edilberto. Aprovechamiento de la Energía solar en un Alumbrado. Cali. 1984 . P 6  
Trabajo de grado (Ingeniero Electricista) Universidad Autónoma de Occidente. Division de Ingenierías

Cada capa por separado es eléctricamente neutra, en la unión (P-N), se crea un campo eléctrico debido a los electrones libres del silicio tipo N que ocupan los huecos de la estructura del silicio tipo P.

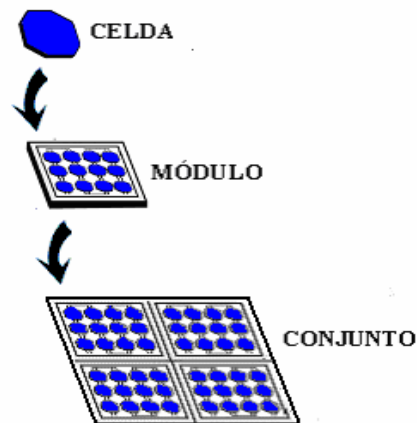
Fig. 26. Formación de la Barrera de Potencial en la Unión P – N



Fuente: LOPEZ T., Edilberto. Aprovechamiento de la Energía solar en un Alumbrado. Cali. 1984 . P 11  
Trabajo de grado (Ingeniero Electricista) Universidad Autónoma de Occidente. Division de Ingenierías

Cuando la luz incide sobre la celda fotovoltaica, los fotones que la componen chocan con los electrones de la estructura del silicio dándoles energía y transformándolos en conductores. Debido al campo eléctrico generado en la unión (P-N), los electrones fluyen de la capa "P" a la capa "N". Mediante un conductor externo, la capa negativa se conecta a la positiva, generando un flujo de electrones (corriente eléctrica) en la conexión. Mientras la luz siga incidiendo en la celda, el flujo de electrones se mantendrá. La intensidad de la corriente generada, variará proporcionalmente según la intensidad de luz incidente. Cada módulo fotovoltaico esta conformado por una determinada cantidad de celdas conectadas en serie. Al unirse la capa negativa de una celda a la positiva de la siguiente, los electrones fluyen a través de los conductores de una celda a la otra. Este proceso se repite hasta llegar a la última celda del módulo, posteriormente fluyen hacia el acumulador o batería. Cada electrón que abandona la última celda del módulo es sustituido por otro que regresa del acumulador o batería. Es por esto que se considera inagotable a un dispositivo fotovoltaico.

*Fig. 27. Formación de un Arreglo de Módulos Solares*



*Fuente: Bombeo Fotovoltaico [en línea] España: Sandia, 2003 [Consultado 9-04-05]. Disponible en Internet: [www.re.sandia.gov/wp/wpGuia/bombeo.html](http://www.re.sandia.gov/wp/wpGuia/bombeo.html).*

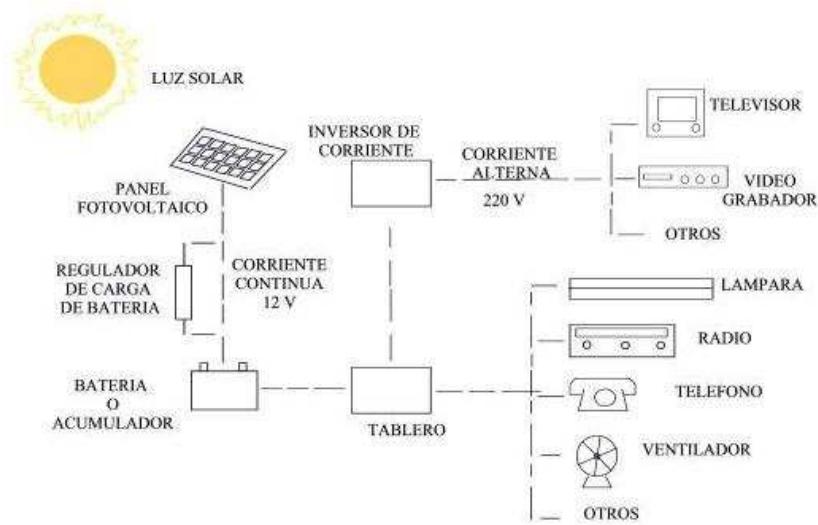
### **3.5.2. Componentes del Sistema**

Un sistema fotovoltaico consta esencialmente de: módulos fotovoltaicos, batería, regulador e inversor.

En el diseño se conecta el generador fotovoltaico a una batería a través de un regulador para que esta no se sobrecargue. Las baterías alimentan cargas en corriente continua. Cuando se necesite energía en corriente alterna se podrá incluir un inversor.

La potencia generada en el sistema fotovoltaico podrá ser transformada íntegramente en corriente alterna o podrán alimentarse simultáneamente cargas de corriente continua (C.C.) y de corriente alterna (C.A.). Fig. 28.

Fig. 28. Esquema de un Sistema Fotovoltaico



Fuente: *Bombeo Fotovoltaico [en línea] España: Sandia, 2003* [Consultado 9-04-05]. Disponible en Internet: [www.re.sandia.gov/wp/wpGuia/bombeo.html](http://www.re.sandia.gov/wp/wpGuia/bombeo.html).

### ➤ Módulos Solares

Es el conjunto formado por las distintas células fotovoltaicas interconectadas, encapsuladas y protegidas por un vidrio en su cara anterior y por un marco por los laterales. El módulo está provisto de terminales para su conexión a la instalación.

La potencia pico de salida es la que se produce en un panel fotovoltaico en condiciones de máxima iluminación solar con una radiación de aproximadamente  $1 \text{ kW/m}^2$ .

Los elementos que componen un panel solar son los siguientes:

- **Encapsulante:** Constituido por un material que debe presentar una buena transmisión a la radiación y una degradabilidad baja a la acción de los rayos solares.
- **Cubierta Exterior de Vidrio Templado:** Aparte de facilitar al máximo la transmisión luminosa, debe resistir las condiciones climatológicas más adversas y soportar cambios bruscos de temperatura.
- **Cubierta Posterior:** Constituida normalmente por varias capas opacas que reflejan la luz que ha pasado entre los intersticios de las células, haciendo que vuelvan a incidir otra vez sobre éstas.
- **Marco de Metal:** Normalmente de aluminio, que asegura rigidez y estanqueidad al conjunto, y que lleva los elementos necesarios para el montaje del panel sobre la estructura soporte.
- **Caja de Terminales:** incorpora los bornes para la conexión del módulo.

- **Diodo de Protección:** impiden daños por sombras parciales en la superficie del panel.

El rendimiento de un panel fotovoltaico depende de la intensidad de la radiación luminosa y de la temperatura de las células solares, de la orientación e inclinación de los paneles con respecto a la horizontal.

Los paneles fotovoltaicos generan electricidad incluso en días nublados, aunque su rendimiento disminuye. La producción de electricidad varía proporcionalmente a la luz que incide sobre el panel; en un día nublado la intensidad de la radiación solar es aproximadamente un 10% de la radiación total y el rendimiento del panel disminuye proporcionalmente a este valor.

El aumento de temperatura en las células supone un incremento en la corriente, pero al mismo tiempo una disminución mucho mayor en la tensión. En general, debido a que la potencia del panel es:  $P = V \cdot I$  entonces ésta disminuye al aumentar la temperatura de trabajo del mismo. Es importante colocar los paneles en un lugar en el que estén bien aireados.

### ➤ **Tipos de Módulos Fotovoltaicos**

Existen tres "calidades" de paneles fotovoltaicos dependiendo del método de fabricación.

- **Módulo de Silicio Monocristalino:**

Las células de silicio monocristalino que lo conforman se obtienen a partir de silicio muy puro, que se funde en un crisol junto con una pequeña proporción de boro. Una vez que el material se encuentra en estado líquido se le introduce una varilla con un 'cristal germen' de silicio, que se va haciendo aumentar con nuevos átomos procedentes del líquido, que quedan ordenados siguiendo la estructura del cristal. De esta forma se obtiene un monocristal sin combinación, que luego se corta en obleas de aproximadamente 3 a 5 décimas de milímetro de espesor. Fig. 29.

Estas obleas se introducen después en hornos especiales, dentro de los cuales se propagan átomos de fósforo que se depositan sobre una cara y alcanzan una cierta profundidad en su superficie. Posteriormente, y antes de realizarse las interconexiones superficiales, se recubren con un tratamiento antirreflexivo de bióxido de titanio o zirconio.

Su eficiencia en conversión de luz solar en electricidad es superior al 12%. Son por lo tanto, los más costosos pero los más efectivos.<sup>11</sup>

---

<sup>11</sup> *Solar Fotovoltaica [en línea] Santa Ana- Murcia: Inersol, 2004 [Consultado 1-03-05]. Disponible en Internet: [www.inersol.com](http://www.inersol.com)*

*Fig. 29 Panel Solar de Silicio Monocristalino.*



*Fuente: Solar Fotovoltaica [en línea] Santa Ana- Murcia: Inersol, 2004 [Consultado 1-03-05].  
Disponible en Internet: [www.inersol.com](http://www.inersol.com)*

- **Módulo de Silicio Policristalino:**

Estas células que lo conforman se obtienen a partir de bloques de silicio obtenidos por fusión de trozos de silicio puro en moldes especiales. En los moldes, el silicio se enfría lentamente, solidificándose. En este proceso, los átomos no se organizan en un único cristal. Se forma una estructura policristalina con superficies de separación entre los cristales. Su eficiencia en conversión de luz solar en electricidad es algo menor a las de silicio Monocristalino.

*Fig. 30. Panel Solar de Silicio Policristalino*



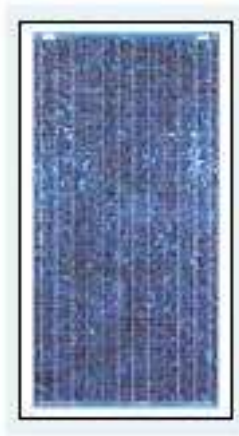
*Fuente: Solar Fotovoltaica [en línea] Santa Ana- Murcia: Inersol, 2004 [Consultado 1-03-05].  
Disponible en Internet: [www.inersol.com](http://www.inersol.com)*



- **Módulo de Silicio Amorfo:**

Las células que lo conforman se obtienen depositando capas muy delgadas de silicio sobre superficies de vidrio o metal. Su eficiencia en conversión de luz solar en electricidad varía entre un 5 y un 7%. Por consiguiente, son los de menor calidad .<sup>12</sup>

*Fig. 31. Panel Solar de Silicio Amorfo*



*Fuente: Solar Fotovoltaica [en línea] Santa Ana- Murcia: Inersol, 2004 [Consultado 1-03-05].  
Disponible en Internet: [www.inersol.com](http://www.inersol.com)*

Las ventajas que presentan los paneles fotovoltaicos son:

- Fiabilidad y larga vida útil (aproximadamente 30 años): esto se debe a que el panel carece de partes móviles y que los contactos y las células van encapsulados en una gruesa capa de resina sintética.
- Resistencia a condiciones climáticas extremas: Los paneles no se rompen fácilmente debido a que van protegidos en su cara exterior con vidrio templado, que permite soportar condiciones meteorológicas muy duras tales como el hielo, la abrasión, cambios bruscos de temperatura, o los impactos producidos por el granizo.
- Poco mantenimiento: Los Paneles requieren un mantenimiento nulo o muy escaso, debido a su propia configuración; no tienen partes móviles y las células y sus conexiones internas están encapsuladas en varias capas de material protector. Es conveniente hacer una inspección general 1 ó 2 veces al año: asegurarse de que las conexiones entre paneles y al regulador están bien ajustadas y libres de corrosión. En la mayoría de los casos, la acción de la lluvia elimina la necesidad de limpieza de los paneles; en caso de ser necesario, simplemente utilizar agua.

---

<sup>12</sup> *Solar Fotovoltaica [en línea] Santa Ana- Murcia: Inersol, 2004 [Consultado 1-03-05]. Disponible en Internet: <http://www.inersol.com>*

### ➤ **Reguladores o Controladores de Carga de Baterías**

Su función es monitorear constantemente la tensión de batería; consumen del 4 al 7% de la potencia del arreglo. Las bombas FV se adquieren con el controlador adecuado para operarlas eficientemente.

En los sistemas solares autónomos los controladores de carga protegen a la batería de una descarga profunda (descarga extrema, demasiada energía consumida) o de sobrecarga (carga extrema, demasiada energía proveniente del panel solar).

Cuando la tensión alcanza un valor para el cual se considera que la batería se encuentra cargada (aproximadamente 14.1 Volts para una batería de plomo ácido de 12 Volts nominales) el regulador interrumpe el proceso de carga. Cuando el consumo hace que la batería comience a descargarse y por lo tanto a bajar su tensión, el regulador reconecta el generador a la batería y vuelve a comenzar el ciclo. Fig. 32, 33.

Por lo general, el controlador está provisto de un indicador luminoso rojo, que se enciende cuando la batería está descargada, y uno verde, que se enciende cuando está completamente cargada. Se debe procurar que el indicador verde permanezca encendido el mayor tiempo posible. Esto extenderá el tiempo de vida de la batería.

*Fig. 32.. Controlador de Carga.*



*Fuente: Solar Fotovoltaica [en línea] Santa Ana- Murcia: Inersol, 2004 [Consultado 1-03-05].  
Disponible en Internet: [www.inersol.com](http://www.inersol.com)*

Figura 33. Controlador Típico de un Sistema Fotovoltaico de Bombeo.



Fuente: Bombeo Fotovoltaico [en línea] España: Sandia, 2003 [Consultado 9-04-05]. Disponible en Internet: [www.re.sandia.gov/wp/wpGuia/bombeo.html](http://www.re.sandia.gov/wp/wpGuia/bombeo.html).

#### ➤ **Baterías**

En los sistemas solares autónomos las baterías almacenan electricidad que será utilizada durante la noche. Asimismo, suministran electricidad durante periodos de escasez o ausencia de luz solar, necesaria para que el panel solar produzca energía. La duración del periodo que puede ser cubierto está determinada por la demanda de electricidad y el tamaño de la batería de almacenamiento. Fig. 34.

Fig. 34. Baterías



Fuente: Solar Fotovoltaica [en línea] Santa Ana- Murcia: Inersol, 2004 [Consultado 1-03-05]. Disponible en Internet: [www.inersol.com](http://www.inersol.com)

Las baterías solares son **estacionarias y de ciclo profundo**. Las baterías estacionarias tienen placas más delgadas presentando por lo tanto más superficie activa y más espacio para el electrolito. En los sistemas solares de emergencia, las baterías son utilizadas para cubrir periodos de corte del fluido eléctrico de la red, son la parte más delicada de un sistema solar y la primera en ser reemplazada.

Las baterías se clasifican en:

**Ácido Abiertas** o de mínimo mantenimiento.

- Ventaja: pueden ser rellenadas con agua destilada.
- Desventaja: Se debe hacer mantenimiento constante.

**Ácido Selladas** (cerradas) o libres de mantenimiento.

- Ventaja: no necesitan mantenimiento.
- Desventaja: tienen una vida más corta que las baterías abiertas, porque por su válvula escapa cierta cantidad de vapor de agua e hidrógeno ( $H_2 + O_2$  gas). Una vez "evaporado" el electrolito, la batería (o la celda) está seca o dañada.

**GEL Selladas** (cerradas) o libre mantenimiento.

- Ventaja: no necesitan mantenimiento, son protegidas contra salida de ácido, tampoco necesitan diferentes funciones de recarga.
- Desventaja: no aguanten una corriente mayor de lo especificado.

**AGM Selladas** (cerradas) o AGM (Fibra de vidrio absorbido) libre mantenimiento.

- Ventaja: no necesitan mantenimiento, son protegidas contra salida de ácido, VRLA (valve regulated lead acid = batería de plomo ácido con regulación de válvula), no necesitan recarga. Además catalizan hasta el 95 % del hidrógeno y oxígeno gasificado ( $H_2 + O_2$  gas) otra vez en agua ( $H_2O$ ) y logran así una vida útil más larga.
- Desventaja: son muy costosas.

Por otro lado las baterías pueden conectarse en serie para incrementar el voltaje, o en paralelo para incrementar la capacidad en Amperios hora del sistema de acumulación. Al hacer una combinación de estos dos tipos de combinaciones se incrementaría tanto el voltaje como la capacidad.

Para aumentar la vida útil de una batería se deben de tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Usar un controlador de carga. Éste desconecta las cargas cuando la batería se encuentra casi completamente descargada.
- Relacionar el número de paneles solares, el tamaño de las baterías y el número de cargas eléctricas (luces, artefactos eléctricos y sus respectivos consumos.).

- Hacer mantenimiento periódico llenándola con agua destilada como mínimo 3 veces al año, si no es una batería sellada.
- Conservar en un lugar fresco pero no extremadamente frío y bien ventilado.

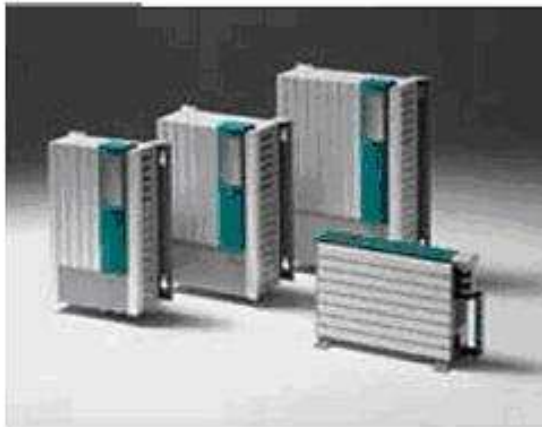
### ➤ **Inversores**

Son convertidores de corriente continua (CC) de la batería en corriente alterna (CA).

En los sistemas conectados a la red, adaptan la electricidad solar generada por el panel para que ésta pueda ser introducida en ella.

En los sistemas solares autónomos, adaptan la electricidad proveniente del panel solar y de la batería para alimentar a los artefactos eléctricos que no operan directamente con la corriente del sistema. Fig. 35.

*Fig. 35. Inversores.*



*Fuente: Inversores [en línea] Alemania: mastervolt, 2005 [Consultado 06-05-05]. Disponible en Internet: [www.mastervolt.com](http://www.mastervolt.com)*

### **3.6. DISEÑO DE LOS SOPORTES (VIGAS) DE LOS MÓDULOS SOLARES**

Para diseñar los soportes se debe de tener en cuenta:

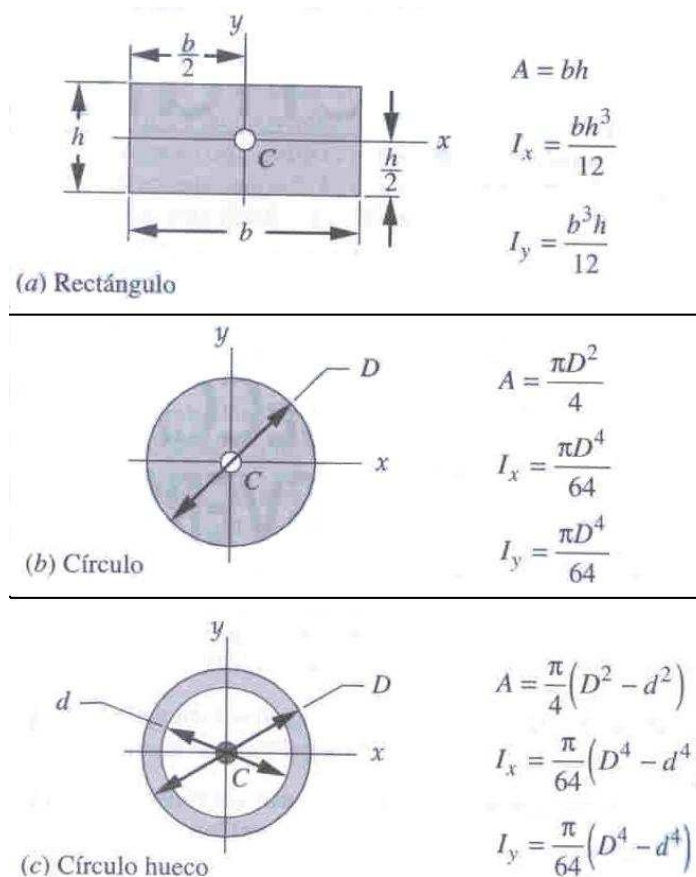
- Tipo de perfiles disponibles para esta aplicación.
- Tipo de apoyos que presentan los soportes.
- Esfuerzos a los que va a ser sometido el soporte.

### 3.6.1. Tipo de Perfiles Disponibles para esta Aplicación

Algunos perfiles comerciales que aplican a este diseño son: perfil rectangular, circular (macizos y huecos).

Se deben tener en cuenta porque los esfuerzos que pueden soportar dependen de las propiedades de la sección transversal (área, momento de inercia) como se puede observar en la siguiente figura:

Fig. 36. Propiedades de las Secciones Transversales



Fuente: NORTON, Robert L. Diseño de Máquinas. México: Prentice hall, 1999. P 990

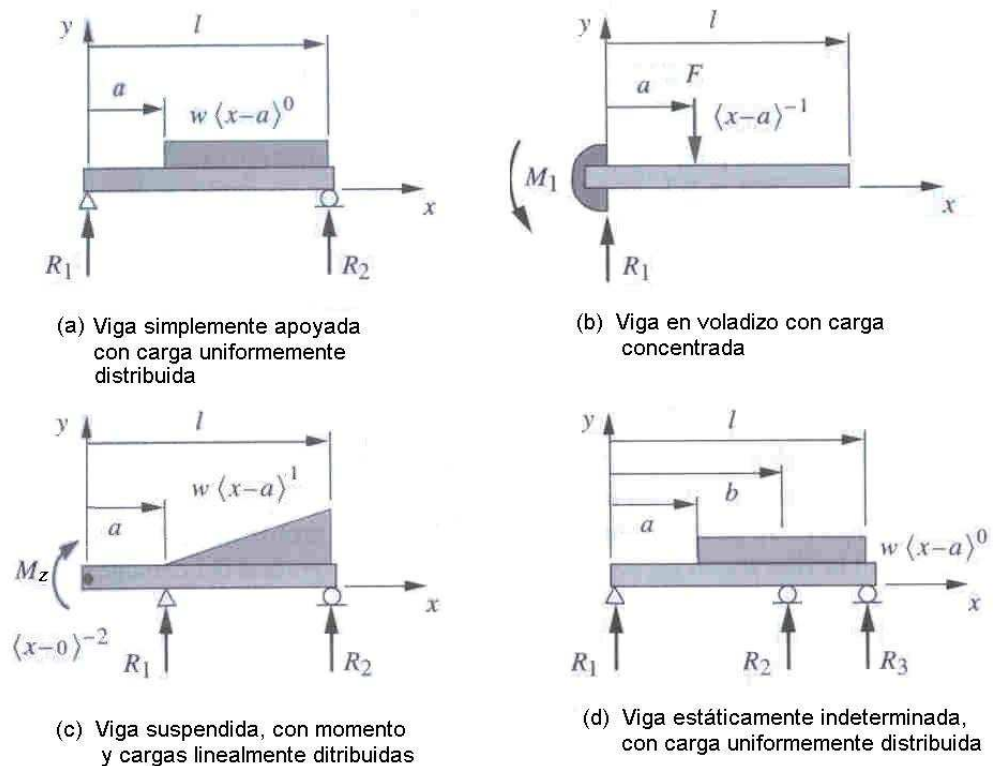
### 3.6.2. Tipo de Apoyos que Presentan los Soportes:

Las vigas se clasifican en:

- **Viga Simplemente Apoyada:** Esta soportada en ambos extremos sobre pasadores o soportes angostos.
- **Viga en Voladizo:** Esta fija en un extremo y no esta apoyada en el otro.
- **Viga Suspendida:** Se presenta cuando cada extremo sobrepasa a sus apoyos.
- **Viga Indeterminada:** Se presenta cuando tiene más apoyos de los necesarios para proporcionarle estabilidad cinemática.

En la siguiente figura se pueden observar el tipo de apoyos:

Fig. 37. Tipos de Vigas y de Cargas sobre Vigas



Fuente: NORTON, Robert L. Diseño de Máquinas. México: Prentice hall, 1999. P 149

### 3.6.3. Esfuerzos a los que va a ser Sometido el Soporte

Las vigas son elementos que soportan cargas transversales y cargas axiales; en este caso solo las soportarán en forma transversal.

Primero se determinan las cargas a las cuales va a estar sometida la viga. Luego se realiza un Diagrama de cuerpo libre (DLC) en el cual se colocan todas las fuerzas y momentos que actúan sobre la viga. Con las ecuaciones para elementos sometidos a cargas estáticas, que se muestran a continuación:

$$\sum F_x = 0 \qquad \sum F_y = 0 \qquad \sum M_z = 0 \qquad (6-1)$$

se obtienen las reacciones en cada uno de los apoyos que presenta la viga. Después se procede a realizar los diagramas de fuerza cortante y de momentos para identificar en cual punto de la viga estos tienen una magnitud mayor; también es necesario identificar la deflexión mediante el método de la doble integral con las siguientes ecuaciones:

$$\theta = \int \frac{M}{EI} dx \quad [m] \qquad (6-2)$$

$$y = \int \theta dx \quad [m] \qquad (6-3)$$

Identificados la fuerza cortante y el momento máximo se procede a determinar los esfuerzos cortante máximo y el normal máximo para luego proceder a compararlos con los esfuerzos específicos de cada material, para verificar si en efecto la viga soportará o no los esfuerzos a los cuales va a ser sometida. Con las ecuaciones 6-4 y 6-5 se determinan estos esfuerzos.

$$\sigma_{Max} = \frac{M_{Max} * y}{I} \quad [Pa] \qquad (6-4)$$

$$\tau_{Max} = \frac{3V_{Maximo}}{2A} \quad [Pa] \qquad (6-5)$$

Se determina el factor de seguridad respectivo de cada esfuerzo, para establecer la confiabilidad que va a presentar el diseño, mediante las siguientes ecuaciones:

$$F_s = \frac{\sigma_{Admisible}}{\sigma_{Maximo}} \quad [Adim.] \qquad (6-6)$$

$$F_s = \frac{\tau_{Admisible}}{\tau_{Maximo}} \quad [Adim.] \qquad (6-7)$$



### 3.7. DISEÑO DEL MÁSTIL (COLUMNA) DE LOS MÓDULOS SOLARES

Para diseñar el mástil se debe de tener en cuenta:

- Tipo de perfiles disponibles para esta aplicación
- Tipo de apoyos que presenta la columna.
- Comparación de la relación de esbeltez teórica con la experimental.

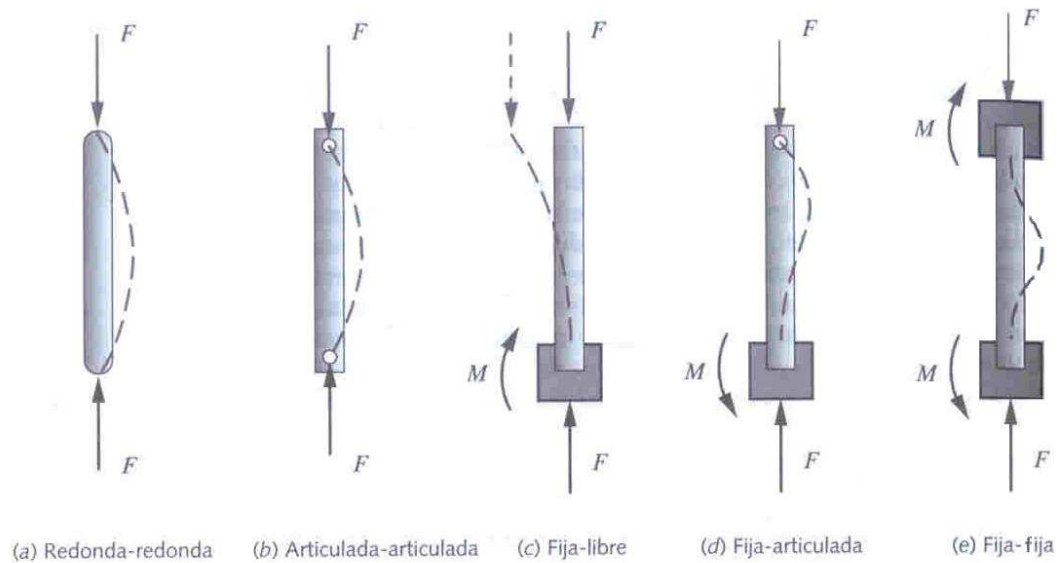
#### 3.7.1. Tipo de Perfiles Disponibles para esta Aplicación

Algunos perfiles comerciales que aplican a este diseño son: perfil rectangular, circular (macizos y huecos). En la figura 36 se pueden observar algunos de estos tipos.

#### 3.7.2. Tipo de Apoyos que Presenta la Columna<sup>13</sup>

De acuerdo al tipo de apoyo varía la longitud efectiva de la columna de la cual depende el radio de giro y a su vez la relación de esbeltez. En la figura 38 se pueden observar las diferentes restricciones que se presentan en una columna con su respectiva curva de deflexión. En la tabla 4 se muestran los tipos de apoyo y sus factores de longitudes efectivas correspondientes.

Fig. 38. Diversas Condiciones Terminales de Columna, y sus Curvas de Deflexión.



Fuente: NORTON, Robert L. Diseño de Máquinas. México :Prentice hall, 1999. P 149

<sup>13</sup> NORTON, Robert L. Diseño de Máquinas. México: Prentice hall, 1999. P 149

Tabla 4. Factores de Longitud Efectiva, según la Condición Terminal de la Columna

Condiciones terminales	Valor teórico	Recomendado por AISC	Valor conservador
Redonda-redonda	$L_{eff} = 1$	$L_{eff} = 1$	$L_{eff} = 1$
Articulada-articulada	$L_{eff} = 1$	$L_{eff} = 1$	$L_{eff} = 1$
Fija-libre	$L_{eff} = 2$	$L_{eff} = 2,1$	$L_{eff} = 2,4$
Fija-articulada	$L_{eff} = 0,707$	$L_{eff} = 0,8$	$L_{eff} = 1$
Fija-fija	$L_{eff} = 0,5$	$L_{eff} = 0,65$	$L_{eff} = 1$

Fuente: NORTON, Robert L. Diseño de Máquinas. México: Prentice hall, 1999. P 149

Con estos valores se determinan el radio de giro (K) y posteriormente la relación de esbeltez (Sr), mediante las siguientes ecuaciones:

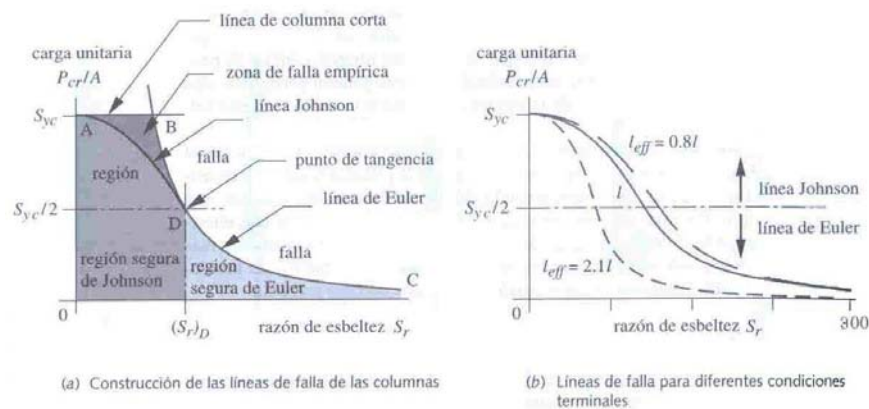
$$K = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad [m] \quad (7-1)$$

$$Sr = \frac{L}{K} * l_{eff} \quad [Adim.] \quad (7-2)$$

### 3.7.3. Comparación de la Relación de Esbeltez Teórica con la Experimental<sup>14</sup>

La relación de esbeltez correspondiente a este punto tangente (Sr)<sub>D</sub> se puede observar en la Fig. 39 y se determina mediante la siguiente ecuación:

Fig. 39. Líneas de Falla de Columnas Euler, Johnson y Columnas Cortas



Fuente: NORTON, Robert L. Diseño de Máquinas. México: Prentice hall, 1999. P 242

<sup>14</sup> Ibid., P 242

$$(Sr)_D = \pi * \sqrt{\frac{2E}{S_y}} \quad [Adim.] \quad (7-3)$$

Dónde

$S_y$  = Limite elástico a la fluencia

$E$  = Módulo de elasticidad

Luego se comparan estos valores para determinar que ecuación se debe utilizar, según el siguiente criterio:

- Si  $S_{r_{calculado}} > (Sr)_D$  aplico la ecuación de Euler
- Si  $S_{r_{calculado}} < (Sr)_D$  aplico la ecuación de Johnson

Las ecuaciones correspondientes a Euler y Jonson se muestran a continuación:

- Euler

$$P_{Critica} = A * \left( \frac{\pi^2 \cdot E}{4 \cdot Sr^2} \right) \quad [N] \quad (7-4)$$

- Johnson

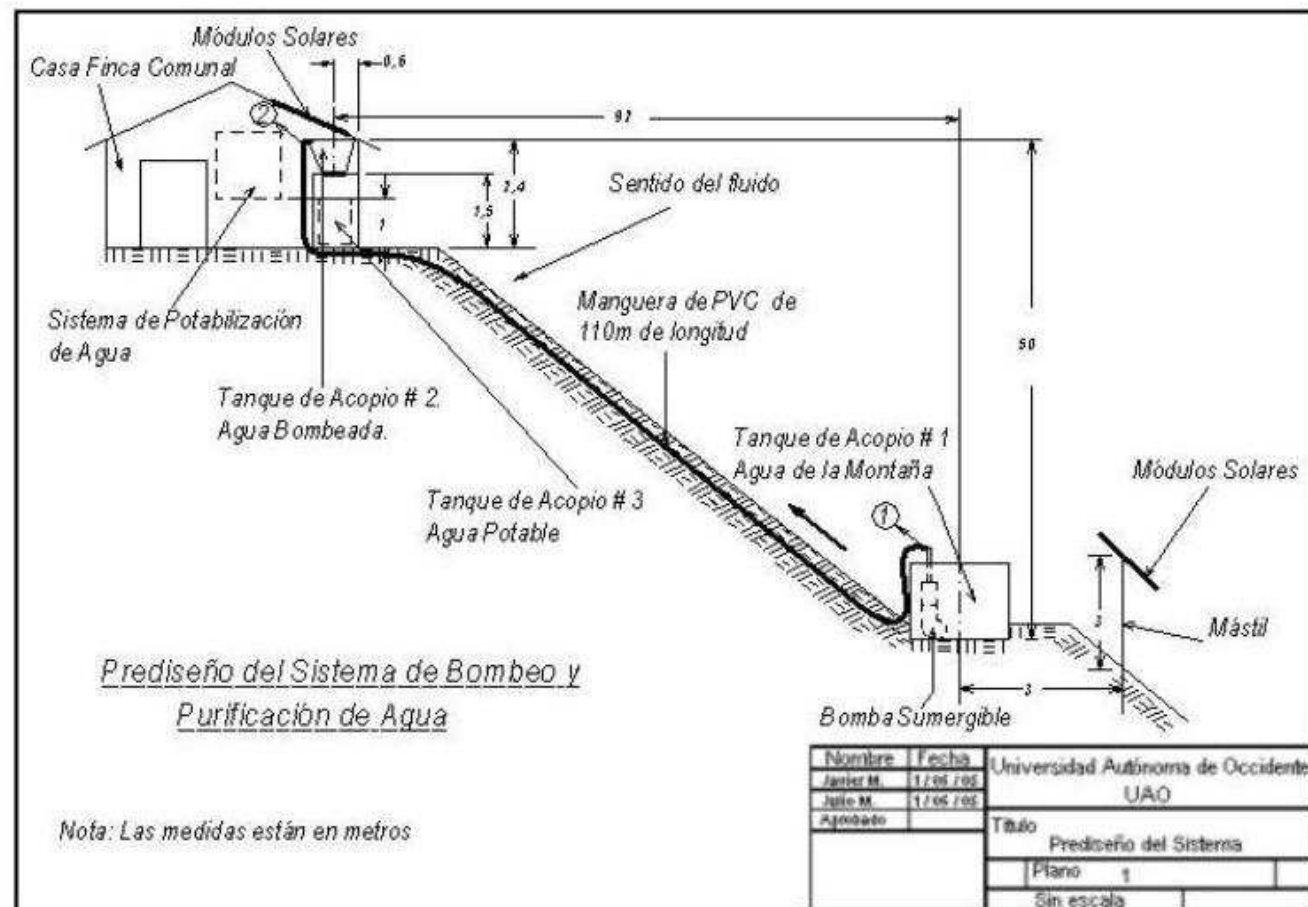
$$P_{Critica} = A * \left[ S_y - \frac{1}{E} \left( \frac{S_y \cdot S_r}{2\pi} \right)^2 \right] \quad [N] \quad (7-5)$$

Mediante la siguiente ecuación se determina el factor de seguridad empleando la carga crítica y la carga que soportará la columna ( $F_c$ ), se determina el factor de seguridad.

$$F_s = \frac{P_{critica}}{F_c} \quad [Adim.] \quad (7-6)$$

#### 4. PREDISEÑO DEL SISTEMA

Fig. 40. Prediseño del Sistema



*Fig. 41. Ubicación del Tanque de Acopio #1 con Respecto a la Casa Finca*



## 5. CÁLCULO Y DISEÑO

Condiciones:

Diseñar un sistema de bombeo para 160 personas, donde se asume que cada una consume 8 litros diarios. Se tomo este valor debido a que cada persona debe tomar 6 litros de agua diarios, pero como en este caso son niños y están realizando actividades continuamente, se trabajará con un valor un poco superior (8Litros).<sup>15</sup>

Se establece la autonomía del Sistema de generación de energía eléctrica fotovoltaica para 3 días.<sup>16</sup>

### 5.1. CÁLCULO DEL SISTEMA DE BOMBEO

Para determinar el caudal que se necesita que la bomba proporcione, se procede de la siguiente manera:

Se sabe que:

$$Q = \frac{8L}{Dia * persona} * 160 persona \quad Q = \text{Rapidez de flujo de volumen}$$

$$Q = \frac{1280L}{Dia} \longrightarrow \text{Caudal de agua requerido por día}$$

Para los sistemas de bombeo solares es recomendable que sean autónomos durante un tiempo, en este caso se diseñó para un período de 3 días, para condiciones climáticas extremas, entonces:

$$Q = \frac{1280L}{Dia} * \frac{3Dias}{4h}$$

$$Q = \frac{3840L}{4h} \longrightarrow Q = 960 \frac{L}{h} = 2,67 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

Para facilitar el desarrollo de los cálculos se convierte el caudal al sistema internacional:

$$Q = 960 \frac{L}{h} * \frac{1m^3}{1000L} \longrightarrow Q = 0,96 \frac{m^3}{h}$$

---

<sup>15</sup> Guía para la Atención Nutricional [en línea] Bogotá: Ministerio de Salud, 2004 [Consultado 10-04-05]. Disponible en Internet: <http://arce.proteccioncivil.org/catalogo/otros/Milton%20Chaverri%20Nutricion.doc>

<sup>16</sup> Cálculos para la electrificación solar [en línea] España: Codeso, 2005 [Consultado 10-03-05]. Disponible en Internet: <http://www.Cálculos para la electrificación solar 03CODESO.htm>.

Como la velocidad recomendada para el fluido en las tuberías debe estar en un rango de ( 0,6 m/s – 5 m/s ), no debe ser inferior a 0,6 m/s porque comienzan a formarse depósitos de arena, pero tampoco mayores a 5 m/s.<sup>17</sup> Para el cálculo de este sistema se tomo una velocidad media, es decir:

$$V = \left( \frac{0.6 + 5}{2} \right) \frac{m}{s} \longrightarrow V = 2,8 \frac{m}{s}$$

De la ecuación 3-1 se puede deducir el diámetro recomendable para estas condiciones de trabajo:

$$Q = VA$$

Se despeja el diámetro:

$$Q = V \frac{\pi \cdot D^2}{4} \longrightarrow D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}}$$

Reemplazando los valores del caudal y de la velocidad se tiene que:

$$D = \sqrt{\frac{4(2,67 * 10^{-4} \frac{m}{s})}{\pi(2,8 \frac{m}{s})}} \longrightarrow D = 1,11 * 10^{-2} m = 11,1 mm \text{ (Diámetro requerido)}$$

Como el diámetro comercial más pequeño que se tiene de manguera de PVC es:

Tabla 5. Dimensiones de Manguera de PVC de ½"

Diámetro nominal		Diámetro exterior		Espesor de pared	
21mm	½ pulg.	21,34	0,840 pulg.	2,37 mm	0,093 pulg.

Fuente: Manual Técnico [en línea] Bogotá: Pavco, 2005 [Consultado 1-03-05]. Disponible en Internet: <http://www.avipla.org/informacion/caracteristicas02.asp>.

Para determinar el diámetro interno de la tubería:

D = Diámetro interno

D<sub>e</sub> = Diámetro externo

E<sub>p</sub> = Espesor de pared

$$D = D_e - 2 * E_p$$

<sup>17</sup> Velocidades del Agua y Formulas para Cálculo [en línea] Bogotá: La Molina, 2002 [Consultado 28-02-05]. Disponible en Internet: <http://tarwi.lamolina.edu.pe/~dsa/Formuladecalculo.htm>



De la tabla 5 se tiene que:

$$D = 21,34mm - 2(2,37mm) \longrightarrow D = 16,6mm = 16,6 * 10^{-3}m \text{ (Diámetro comercial)}$$

Ahora se vuelve a la ecuación 3-1 para volver a calcular la velocidad con el nuevo diámetro que se determinó:

$$Q = VA \longrightarrow V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{\frac{Q}{\pi \cdot D^2}}{4} \longrightarrow V = \frac{2,67 * 10^{-4} \frac{m}{s}}{\pi \cdot \frac{(16,6 * 10^{-3}m)^2}{4}}$$

$$V = 1,3 \frac{m}{s}$$

De acuerdo a la ecuación 3-7 aplicada a los puntos 1 y 2 de la figura 40 y como no hay energía removida del fluido mediante un dispositivo mecánico, la energía agregada al fluido a través de bomba ( $h_A$ ):

$$h_A = \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + (z_2 - z_1) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + h_F$$

A continuación se procede a calcular las pérdidas  $h_F$ , donde  $h_F = h_L + h_{Accesorios}$

$$h_L = \text{Pérdidas por fricción en el conducto} \quad h_{Accesorios} = \text{Pérdidas por accesorios}$$

Para determinar las pérdidas por fricción ( $h_L$ ), se hace el cálculo utilizando la ecuación 3-8:

$$h_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

Ahora se determina el factor de fricción  $f$

- Utilizando el diagrama de Moody

Se procede a calcular el número de Reynolds ( $N_R$ ) a través de la ecuación 3-9 para determinar el tipo de flujo:



$$N_R = \frac{VD\rho}{\mu} = \frac{VD}{\nu}$$

Como las propiedades del agua varían muy poco con respecto la temperatura, la cual podría oscilar en unos 15°C, entonces en este caso se va a tomar como un parámetro, donde:

Temperatura de trabajo = 20 °C

$$\rho = 998 \frac{Kg}{m^3}$$

$$\mu = 1.02 * 10^{-3} \frac{Ns}{m^2}$$

$$\nu = 1.02 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}$$

Reemplazando los valores en la ecuación del número de Reynolds:

$$N_R = \frac{VD\rho}{\mu} \longrightarrow N_R = \frac{(1,3 \frac{m}{s}) \cdot (16,6 * 10^{-3} m) \cdot (998 \frac{Kg}{m^3})}{1,02 * 10^{-3} \frac{Ns}{m^2}}$$

$$N_R = 21156,86$$

Como  $N_R > 4000$ , entonces el flujo es turbulento

Ahora se determina la rugosidad relativa, mediante la ecuación 3-11:

Donde  $\varepsilon = 0,0015$  (PVC)

$$\frac{D}{\varepsilon} \longrightarrow \frac{D}{\varepsilon} = \frac{16,6mm}{0.0015mm} \longrightarrow \frac{D}{\varepsilon} = 11066,67$$

De acuerdo al diagrama de Moody se tiene que  $f = 0.026$

- Mediante la ecuación 3-10:

$$f = \frac{0,25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3,7 \left( \frac{D}{\varepsilon} \right)} + \frac{5,74}{N_R^{0,9}} \right) \right]^2}$$

Reemplazando los valores:

$$f = \frac{0,25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3,7 \left( \frac{16,6mm}{0,0015mm} \right)} + \frac{5,74}{(21156,86^{0,9})} \right) \right]^2} \longrightarrow f = 2,57 * 10^{-2}$$

Dónde  $f = 0,0257 \approx 0,026$

Ahora se reemplazan los valores en la ecuación 3-8 para determinar las pérdidas por fricción:

$$h_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad \text{Dónde la longitud L se encuentra en la Figura 40.}$$

$$h_L = 0,026 \cdot \frac{110m}{(16,6 * 10^{-3}m)} \cdot \frac{\left(1,3 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right)} \longrightarrow h_L = 14,84m$$

Luego se procede a calcular las pérdidas por accesorios:

En este sistema se presentan pérdidas debido a la CONTRACCIÓN SÚBITA (Salida de la Bomba) y se calculan mediante la ecuación 3-12:

$$h_{Accesorios} = k \frac{V^2}{2g}$$

La relación entre los diámetros es:

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{76,2mm}{16,6mm} \longrightarrow \frac{D_1}{D_2} = 4,59$$

Tabla 6. Coeficiente de Resistencia – Contracción Súbita

VELOCIDAD				
D <sub>2</sub> / D <sub>1</sub>	0,6 m/s	1,2 m/s	1,8 m/s	6 m/s
1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1,1	0,03	0,04	0,04	0,05
2,0	0,38	0,37	0,37	0,33
2,5	0,42	0,42	0,41	0,37
4,0	0,47	0,46	0,45	0,41
5,0	0,48	0,47	0,47	0,42
∞	0,49	0,48	0,48	0,44

Fuente: NORTON, Robert L. Diseño de Máquinas. México: Prentice hall, 1999. P 275

De la tabla anterior se tiene que el coeficiente para tubería en PVC de densidad de  $1,4 \frac{gr}{cm^3}$ <sup>18</sup>. Se toma el valor superior, es decir dónde k = 0.47 para garantizar que el requerido se cumple.

Se reemplazan los valores para determinar las pérdidas por CONTRACCIÓN SÚBITA:

$$h_{Accesorios} = k \frac{V^2}{2g} \longrightarrow h_{Accesorios} = 0,47 \frac{\left(1,3 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right)} \longrightarrow h_{accesorios} = 4,04 * 10^{-2} m$$

Por otro lado con los anteriores datos, se puede determinar el comportamiento de la velocidad del fluido a lo largo de la sección transversal del conducto (perfil de velocidad), mediante la siguiente ecuación:

$$V = v \left( 1 + 1.43\sqrt{f} + 2.15\sqrt{f} * \log_{10} \left( \frac{y}{r_o} \right) \right) \text{ Dónde}$$

V = Velocidad en un punto de la sección transversal

v = Velocidad promedio del fluido ( 1,3 m/s )

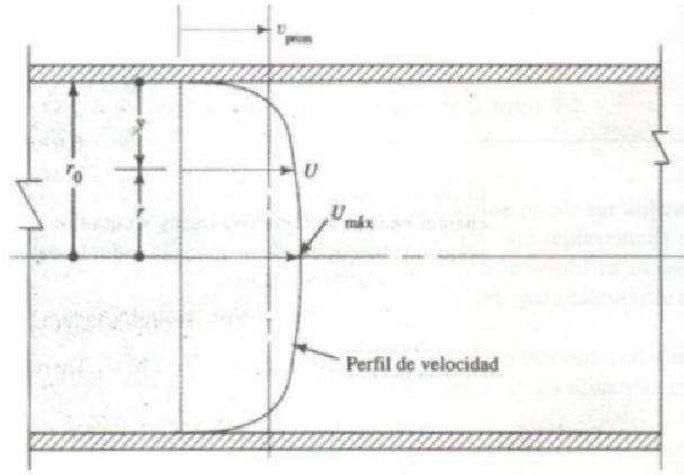
y = Distancia de la pared del conducto al punto de análisis

<sup>18</sup> Manual Técnico [en línea] Bogotá: Pavco, 2005 [Consultado 1-03-05]. Disponible en Internet: <http://www.avipla.org/informacion/caracteristicas02.asp>.

$$r_o = \text{Radio interno del conducto} \left( \frac{16,6}{2} * 10^{-3} m \right)$$

En la siguiente figura se muestran estas variables:

Fig. 42. Perfil de Velocidad para flujo Turbulento.



Fuente: NORTON, Robert L. Diseño de Máquinas. México: Prentice hall, 1999. P 250

De acuerdo a la ecuación anterior se puede determinar la velocidad máxima cuando  $y = r_o$ , es decir en el centro del conducto, ahora se va a determinar la velocidad del fluido en cada punto de la sección transversal en la siguiente tabla:

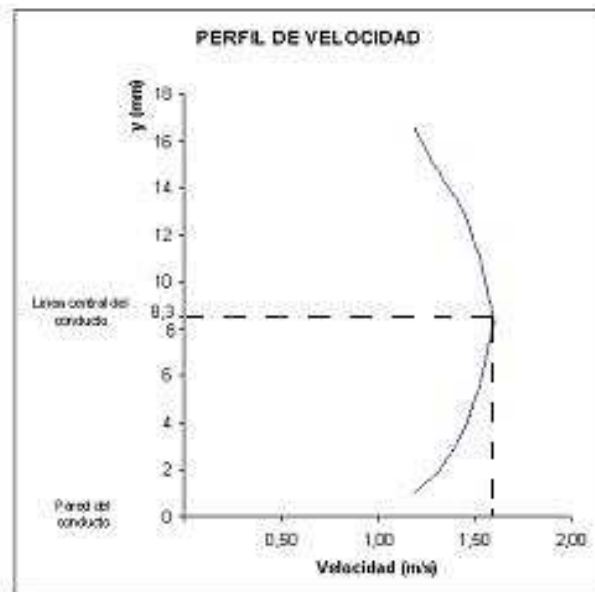
Tabla 7. Velocidad del Fluido en Varios Puntos de la Sección Transversal del Conducto

y(mm)	y/r <sub>o</sub>	V(m/s)
1	0,12	1,19
1,79	0,216	1,30
2	0,24	1,32
3	0,36	1,40
4	0,48	1,46
5	0,60	1,50
6	0,72	1,54
7	0,84	1,57
8,3	1,00	1,60

$V_{\max} = 1,6 \text{ m/s}$  ( en el centro del conducto)

En la siguiente figura se puede observar el comportamiento de la velocidad del fluido:

Fig. 43. Perfil de Velocidad en Flujo Turbulento



Como se observa en la figura anterior entre mas cercano se encuentre de la superficie de la tubería se presentará una mayor fricción y por consiguiente se verá reflejado en una disminución de la velocidad.

- De acuerdo a la anterior gráfica se puede verificar que el perfil de velocidad si corresponde a un flujo turbulento.
- La velocidad máxima se presenta en el centro del conducto, debido a que en este punto se produce la menor fricción.

Según los datos calculados y la ecuación 3-8 , se procede a calcular la energía agregada por la bomba al fluido.

Como no hay energía removida mediante un dispositivo mecánico (motor), la presión y la velocidad son iguales entonces la ecuación 3-8 entre los puntos 1 y 2 mostrados en la figura 40 quedaría:

$$h_A = (z_2 - z_1) + h_F \quad \text{dónde} \quad h_F = h_{L1} + h_{L2}$$

Entonces:

$$h_A = (50m) + (14,84m + 4,04 * 10^{-2} m)$$

$$h_A = 64,88m$$

Para determinar la potencia agregada al fluido, se tiene la ecuación 3-15:

$$P_A = h_A \cdot \gamma \cdot Q \longrightarrow P_A = 64,88 \frac{Nm}{N} * 9,79 * 10^3 \frac{N}{m^3} * 2,67 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$P_A = 168,1 \frac{Nm}{s} = 168,1W$$

Resumen de los cálculos de Pérdida de Energía en Tubería y Accesorios:

*Tabla 8. Carga Dinámica y Caudal. Sistema de Bombeo*

Carga Dinámica	Caudal	
<i>m</i>	<i>m<sup>3</sup> / h</i>	<i>m<sup>3</sup> / Día</i>
64,88	0,96	3,84

De la figura 20, se observa que según la carga dinámica y el caudal requerido el tipo de bomba más apropiado es la de desplazamiento positivo, en este caso se van a utilizar bombas de rotor helicoidal, donde cada bomba viene con su respectivo controlador dependiendo de su aplicación.

## 5.2. SELECCIÓN DE LA BOMBA

Con base en los resultados de los cálculos para el caudal y la caída de presión total se selecciona la bomba de acuerdo a los catálogos de los fabricantes. Para efectos del ejercicio se trabajó con la información de la marca Grundfos, fabricante Alemán de bombas para las aplicaciones que se necesitaban.

Según los datos obtenidos se ingresa a la siguiente tabla con la carga dinámica ( 64,88 m), después se desciende verticalmente hasta el caudal requerido (3,84 m<sup>3</sup>/Día), posteriormente se determina el modelo de la bomba.

Tabla.9. Selección de la Bomba

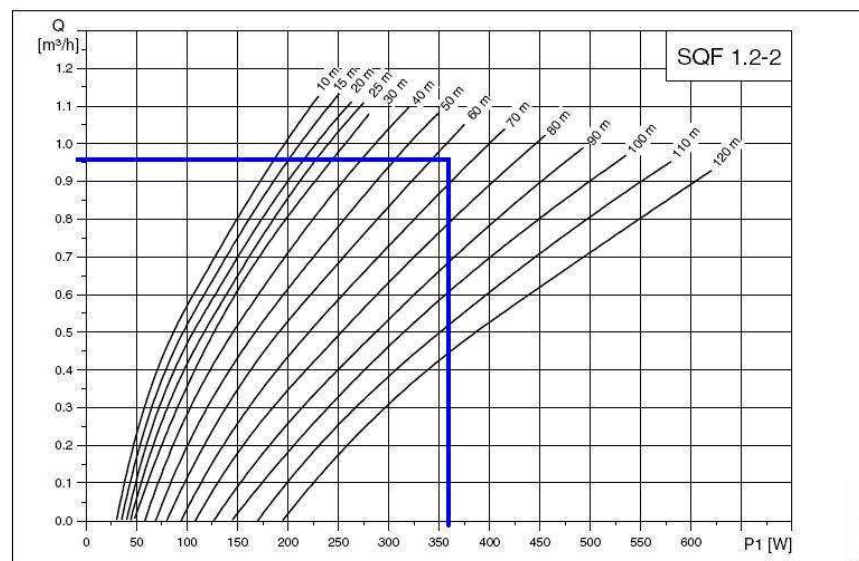
Altura necesaria [m]												
5	10	20	30	40	50	60	70 (A)	80	90	100	110	120
Caudal necesario [m³/día]												
22,3	12,1	8,5	4,5	3,1	2,7	2,4	2,1	1,9	1,6	1,4	1,1	0,8
SQF 5A-3	SQF 2,5-2			SQF 1,2-2	SQF 0,6-2							
52,8	25,7	17,5	12,1	8,5	6,4	5,5	4,7 (B)	4,1	3,8	3,5	3,2	2,8
SQF 14A-3	SQF 5A-3	SQF 2,5-2			SQF 1,2-2 (C)			SQF 0,6-2				
78,8	40,2	21,5	17,9	14,1	11,1	8,6	7,4	6,7	5,8	5,1	4,3	4,0
SQF 14A-3	SQF 5A-3	SQF 2,5-2					SQF 1,2-2				SQF 0,6-2	
98,6	59,1	29,1	20,4	17,6	15,2	12,7	9,7	8,2	7,5	6,9	6,3	5,7
SQF 14A-3	SQF 5A-6	SQF 2,5-2					SQF 1,2-2					
115	75,0	37,6	22,2	19,5	17,4	15,4	12,9	10,6	8,4	7,9	7,3	6,8
SQF 14A-3	SQF 5A-6	SQF 2,5-2					SQF 1,2-2					

Fuente: Bombas [en línea] Alemania: Grundfos, 2005 [Consultado 10-05-05]. Disponible en Internet: [www.grundfos.com](http://www.grundfos.com)

Según la tabla anterior se puede llegar a la conclusión que la bomba más adecuada es el modelo SQF 1,2-2.

A continuación se ingresa a la gráfica de las curvas características según el modelo de la bomba (SQF 1,2-2), para determinar la potencia requerida.

Fig. 44. Curvas Características de la Bomba (Modelo SQF 1,2-2)



Fuente: Bombas [en línea] Alemania: Grundfos, 2005 [Consultado 10-05-05]. Disponible en Internet: [www.grundfos.com](http://www.grundfos.com)

Como se observa en la figura 44 la potencia requerida para este sistema es 360 W.

Para estos sistemas se debe tener en cuenta las pérdidas en el cableado, conexiones, variaciones en el consumo previstos inicialmente, controlador, etc, el cual se estima en un 15% del consumo total.<sup>19</sup>

De acuerdo con lo anterior tenemos que la potencia total requerida es:

$$P_{Requerida} = 360W + 0,15 * 360W$$

$$P_{Requerida} = 360W + 54W \longrightarrow P_{Requerida} = 414W$$

Ahora determinamos la eficiencia de la bomba con la ecuación 3-17:

$$\eta = \frac{\text{Potencia \_ Añadida \_ al \_ Fluido}}{\text{Potencia \_ Suministrada \_ a \_ la \_ Bomba}} = \frac{P_A}{P_{Requerida}}$$

$$\eta = \frac{168,1W}{414W} \longrightarrow \eta = 40,6\%$$

Para determinar el número de módulos solares:

- Lo primero es determinar la carga diaria del sistema, a partir de la potencia consumida, por cada uno de los equipos y el tiempo de funcionamiento.

Reemplazando en la siguiente ecuación tenemos que:

$$\text{Energía (Wh)} = \text{Potencia(W)} * \text{tiempo(h)}$$

---

<sup>19</sup> Evaluación del Consumo Total España: Lorenzo Rodríguez, 2004 [Consultado 1-03-05]. Disponible en Internet: <http://solar.ujaen.es/cursolar.HTM>



La siguiente tabla muestra el cálculo de la energía requerida para el funcionamiento diario de la bomba:

Tabla 10. Energía Total Necesaria para el Sistema de Bombeo

Cantidad	Equipo	Potencia (W)	Potencia subtotal (W)	Horas / Día de uso (h)	Energía Requerida (E <sub>1</sub> ) (W-h)
1	Bomba sumergible	360	360	4	1440
<b>Total (W-h/Día)</b>					1440

Como se debe estimar las pérdidas que se ocasionan en cables, conexiones, regulador, etc, de las cuales ya se dijo es aproximadamente el 15% del consumo total, entonces se tiene que el total de energía que deben suministrar los módulos fotovoltaicos es:

$E_2 = \text{Energía total}$

$$E_2 = E_1 + 0,15 * E_1 \longrightarrow E_2 = 1440 \text{ Wh/Día} + 216 \text{ Wh/Día}$$

$$E_2 = 1656 \text{ Wh/Día}$$

Ahora se procede a determinar la energía solar disponible en el lugar ( $E_3$ ). (Depende del lugar y se obtiene a partir de tablas). Tabla 11. Para determinar estos valores se estableció un promedio de radiación solar tomado entre los años (1970-1980), el cual fue realizado por el Himat en 1986. [19].

Tabla 11. Radiación Solar Disponible en el Departamento del Cauca

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio
$E_3(\text{Kwh/m}^2/\text{Día})$	4,84	4,87	4,7	4,54	4,17	4,28	4,87	4,84	4,66	4,37	4,22	4,54	4,57

Fuente: Documentos de Radiación Solar en Colombia [en línea] Bogotá: Radiación solar, 1991 [Consultado 6-03-05]. Disponible en Internet: [http://sky.net.co/energia/Radiacion\\_solar\\_1.htm](http://sky.net.co/energia/Radiacion_solar_1.htm).

Se escoge el valor menor, debido a que es el más crítico, lo cual indicaría que se cumple con todos los demás.

$$E_3 = 4,17 \text{ Kwh/m}^2/\text{Día}$$

Se determina la energía producida por un módulo solar, en este caso se seleccionaron módulos de potencia igual a 100W:

$$E_{Modulo} = \frac{E_3 * P_{Modulo}}{1 \frac{KW}{m^2}} \longrightarrow E_{Modulo} = \frac{4,17 \frac{KWh}{m^2.Dia} * 100W}{1 \frac{KW}{m^2}}$$

$$E_{Modulo} = 417 \frac{Wh}{Dia}$$

Luego se calcula el número de módulos solares (N) necesarios para nuestra demanda:

$$N = \frac{E_2}{E_{Modulo}} \longrightarrow N = \frac{1656 \frac{Wh}{Dia}}{417 \frac{Wh}{Dia}}$$

$$N = 3,97 \approx 4 \text{ (Número de módulos solares necesarios)}$$

## 6. CÁLCULO DEL SISTEMA DE PURIFICACIÓN

Para calcular la bomba del sistema de purificación se retoman algunos de los valores ya calculados para el sistema de bombeo, debido a que son los mismos.

$$Q = 2,67 * 10^{-4} \frac{m^3}{s} \quad D = 16,6 * 10^{-3} m \quad V = 1,3 \frac{m}{s}$$

De la ecuación general de energía 3-7 se tiene que:

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Como no hay energía removida mediante un dispositivo mecánico (motor), la presión y la velocidad son iguales entonces la ecuación quedaría:

$$h_A = (z_2 - z_1) + h_F \quad \text{dónde} \quad h_F = h_L + h_{\text{Accesorios}}$$

$h_L$  = Pérdidas por fricción en la tubería.

$$\text{Dónde } h_{\text{Accesorios}} = h_{\text{cont.sub.}} + h_{\text{codos\_tes}} + h_{\text{disp.\_tuberia}}$$

$h_{\text{cont.sub.}}$  = Pérdidas debido a contracción súbita

$h_{\text{codos\_tes}}$  = Pérdidas por codos a 90° y por Tes en la tubería

$h_{\text{disp.\_tuberia}}$  = Pérdidas por dispositivos alojados en la tubería

### 6.1. CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA DEL SISTEMA

Para calcular las pérdidas por fricción en la tubería, primero se determina la longitud del trayecto de tubería mas largo que tiene que hacer el fluido (agua) para ser purificado:

$$L_{\text{Tuberia}} = (0,9 + 0,2 + 0,3 + 0,2 + 1 + 0,5 + 0,5 + 0,4 + 0,5 + 0,8 + 1 + 0,4) m$$

$$L_{\text{Tuberia}} = 6,7 m$$

Luego se determina el factor de fricción del diagrama de Moody (ya se determinó en la bomba del sistema de bombeo).

$$f = 0,026 \quad \text{con los valores de} \quad \frac{D}{\epsilon} = 11066,67 \quad N_R = 21156,86$$

Ahora se determinan las pérdidas por fricción ( $h_L$ ), mediante la ecuación 3-8.

$$h_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

$$h_L = 0,026 \cdot \frac{6,7m}{(16,6 \cdot 10^{-3}m)} \cdot \frac{\left(1,3 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right)} \longrightarrow h_L = 0,91m$$

Luego se procede a calcular las pérdidas menores, las cuales suceden cuando hay un cambio en la sección cruzada de la trayectoria del flujo, en la dirección del flujo o cuando la trayectoria del flujo se encuentra obstruida.

En este sistema se presentan pérdidas debido a la CONTRACCIÓN SÚBITA (reducción instantánea del diámetro) y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$h_{cont.sub.} = k \frac{V^2}{2g}$$

Dónde k es el coeficiente de resistencia y depende de la relación entre los diámetros de los conductos y la velocidad media del fluido.

La relación entre los diámetros es:

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{76,2mm}{16,6mm} \longrightarrow \frac{D_1}{D_2} = 4,59$$

De la tabla 7.

Se toma el valor superior, es decir dónde  $k = 0.47$  para garantizar que el requerido se cumple.

$k = 0.47$  (adim.)

Después se procede a calcular las pérdidas por CONTRACCIÓN SÚBITA: (Salida de la Bomba)

$$h_{cont.sub.} = k \frac{V^2}{2g} \longrightarrow h_{cont.sub.} = 0,47 \frac{\left(1,3 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right)} \longrightarrow h_{cont.sub.} = 4,04 \cdot 10^{-2}m$$

Ahora se procede a calcular las pérdidas por codos a 90° y por Tes en la tubería ( $h_{\text{codos\_tes}} = h_{\text{Codos}} + h_{\text{Tes}}$ ) de la siguiente manera:

Del plano No 6 de detalle del sistema de purificación tenemos que el trayecto con mayor número de codos tiene 13 codos.

De la ecuación 3-12.

$$h_{\text{Codos}} = 13 * \left( K * \frac{V^2}{2g} \right)$$

De la tabla 2 se determina el  $\frac{L_e}{D}$  (Proporción de longitud equivalente en diámetro de conducto), el cual es:

$$\frac{L_e}{D} = 30$$

De la tabla 3 se determina el  $f_T$  (factor de fricción en el conducto), el cual es:

$$f_T = 0,027$$

Reemplazando el factor K (Coeficiente de resistencia)

$$K = 30 * 0,027 \longrightarrow K = 0,81$$

Se determinan las pérdidas por codos:

$$h_{\text{Codos}} = 13 * \left( K * \frac{V^2}{2g} \right) \longrightarrow h_{\text{Codos}} = 13 * \left( 0,81 * \frac{\left( 1,3 \frac{m}{s} \right)^2}{2 * \left( 9,81 \frac{m}{s^2} \right)} \right)$$

$$h_{\text{Codos}} = 0,91m$$

Ahora se determinan las pérdidas por Tes ( $h_{\text{Tes}}$ ) de la siguiente manera:

Del plano No 6 de detalle del sistema de purificación tenemos que el trayecto con mayor número de Tes tiene 3.

$$h_{Tes} = 3 * \left( K * \frac{V^2}{2g} \right) \quad \text{donde} \quad K = \frac{L_e}{D} \cdot f_T$$

$\frac{L_e}{D}$  = Proporción de longitud equivalente en diámetro de conducto.

$f_T$  = Factor de fricción en el conducto (depende del diámetro)

De la tabla 2 se determina el  $\frac{L_e}{D}$ , el cual es:

$$\frac{L_e}{D} = 20$$

De la tabla 3 se determina el  $f_T$ , el cual es:

$$f_T = 0,027$$

Reemplazando el factor K (coeficiente de resistencia) es:

$$K = 20 * 0,027 \longrightarrow K = 0,54$$

Ahora se determinan las pérdidas por Tes:

$$h_{Tes} = 3 * \left( K * \frac{V^2}{2g} \right) \longrightarrow h_{Tes} = 3 * \left( 0,54 * \frac{\left( 1,3 \frac{m}{s} \right)^2}{2 * \left( 9,81 \frac{m}{s^2} \right)} \right)$$

$$h_{Tes} = 0,14m$$

Entonces las pérdidas por codos a 90° y por Tes en la tubería

$$h_{codos\_tes} = 0,91m + 0,14m \longrightarrow h_{codos\_tes} = 1,05m$$

Ahora se determinan las pérdidas por dispositivos alojados en la tubería ( $h_{disp\_tuberia}$ )

$$\gamma = 9,79 * \frac{KN}{m^3} \quad 1bar = 101 Kpa \quad 1Pa = N/m^2$$

- Pérdidas en la Unidad de la Lámpara Ultravioleta ( $h_{UV}$ )

De la ecuación 3-7 se tiene que:

$$\frac{P_A}{\gamma} + Z_A + \frac{V_A^2}{2g} - h_{UV} = \frac{P_B}{\gamma} + Z_B + \frac{V_B^2}{2g}$$

Como la velocidad del fluido es igual a la entrada y a la salida, entonces la ecuación quedaría:

$$h_{UV} = \frac{P_A - P_B}{\gamma} + (0,35m) \longrightarrow h_{UV} = \frac{150 * 10^{-3} bar}{9,79 \frac{kN}{m^3}} + (0,35m)$$

$$h_{UV} = \frac{150 * 10^{-3} bar * \frac{101 * 10^3 pa}{1bar}}{9,79 * 10^3 \frac{N}{m^3}} + (0,35m) \longrightarrow h_{UV} = 1,85m$$

- Pérdidas en el Filtro de Carbón Activado ( $h_{CA}$ )

De la ecuación 3-7 se tiene que:

$$\frac{P_A}{\gamma} + Z_A + \frac{V_A^2}{2g} - h_{CA} = \frac{P_B}{\gamma} + Z_B + \frac{V_B^2}{2g}$$

Como no hay variación en la velocidad del fluido y no hay pérdidas por diferencia de alturas, entonces la ecuación quedaría:

$$h_{CA} = \frac{P_A - P_B}{\gamma} \longrightarrow h_{CA} = \frac{0,2bar * \frac{101 * 10^3 pa}{1bar}}{9,79 * 10^3 \frac{N}{m^3}}$$

$$h_{CA} = 2,06m$$

- Pérdidas en el Filtro de Osmosis Inversa ( $h_{OI}$ )

De la ecuación 3-7 se tiene que:

$$\frac{P_A}{\gamma} + Z_A + \frac{V_A^2}{2g} - h_{OI} = \frac{P_B}{\gamma} + Z_B + \frac{V_B^2}{2g}$$

Como no hay variación en la velocidad del fluido y no hay pérdidas por diferencia de alturas, entonces la ecuación quedaría:

$$h_{OI} = \frac{P_A - P_B}{\gamma} \longrightarrow h_{OI} = \frac{0,15bar * \frac{101 * 10^3 pa}{1bar}}{9,79 * 10^3 \frac{N}{m^3}}$$

$$h_{OI} = 1,50m$$

- Pérdidas en Válvulas:

Se seleccionó una válvula tipo esfera, debido a su bajo costo, requiere poco mantenimiento, no requiere lubricación, corta el paso del fluido con solo girar 90°.

$$h_{Válvula} = K * \frac{V^2}{2g} \quad \text{dónde} \quad K = \frac{L_e}{D} \cdot f_T$$

$$\frac{L_e}{D} = \text{Proporción de longitud equivalente}$$

$$f_T = \text{Factor de fricción en el conducto (depende del diámetro)}$$

De la tabla 2 se determina el  $\frac{L_e}{D}$ , el cual es:

$$\frac{L_e}{D} = 150$$

De la tabla 3 se determina el  $f_T$ , el cual es:

$$f_T = 0,027$$



Reemplazando el factor K es:

$$K = 150 * 0,027 \longrightarrow K = 4,5$$

Se determinan las pérdidas en la válvula:

$$h_{Válvula} = K * \frac{V^2}{2g} \longrightarrow h_{Válvula} = 4,5 * \frac{\left(1,3 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9,81 \frac{m}{s^2}}$$

$$h_{Válvula} = 0,39m$$

Las pérdidas por dispositivos alojados en la tubería es:

$$h_{disp._{tuberia}} = h_{UV} + h_{CA} + h_{OI} + h_{válvula}$$

$$h_{disp._{tuberia}} = 1,85m + 2,06m + 1,50m + 0,39m \longrightarrow h_{disp._{tuberia}} = 5,8m$$

Luego se reemplazan las pérdidas por accesorios:

$$h_{Accesorios} = h_{cont.sub.} + h_{codos\_tes} + h_{disp._{tuberia}}$$

$$h_{Accesorios} = 4,04 * 10^{-2}m + 1,05m + 5,8m \longrightarrow h_{Accesorios} = 6,89m$$

Ahora se sustituyen todas las pérdidas:

$$h_F = h_L + h_{Accesorios} \longrightarrow h_F = 6,89m + 0,91m \longrightarrow h_F = 7,8m$$

Ahora de la ecuación 3-7 se tiene que:

$$h_A = (z_2 - z_1) + h_F \longrightarrow h_A = 0,8m + 7,8m \longrightarrow h_A = 8,6m$$

Para determinar la potencia agregada al fluido se utiliza la ecuación 3-15.

$$P_A = h_A W \text{ donde } W = \text{rapidez del flujo de peso } W = \gamma * Q$$

$\gamma$  = Peso específico del agua

Reemplazando:

$$P_A = 8,6 \frac{Nm}{N} * 9,79 * 10^3 \frac{N}{m^3} * 2,67 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$P_A = 22,48 \frac{Nm}{s} = 22,48W$$

Resumen de Cálculos de Pérdida de Energía en la Tubería y Accesorios:

Tabla 12. Carga Dinámica y Caudal. Sistema de Purificación.

Carga Dinámica		Caudal	
<i>m</i>		<i>m<sup>3</sup> / h</i>	<i>m<sup>3</sup> / Dia</i>
8,6		0,96	3,84

De la figura 20, se observa que según la carga dinámica y el caudal requeridos el tipo de bomba más apropiado es la de desplazamiento positivo, en este caso se van a utilizar bombas de rotor helicoidal, donde cada bomba viene con su respectivo controlador dependiendo de su aplicación.

## 6.2. SELECCIÓN DE LA BOMBA

Con base en los resultados de los cálculos para el caudal y la caída de presión total se selecciona la bomba de acuerdo a los catálogos de los fabricantes. Para efectos del ejercicio se trabajó con la información de la marca Grundfos, fabricante Alemán de bombas para las aplicaciones que se necesitaban.

Según los datos obtenidos se ingresa en la siguiente tabla con la carga dinámica, después se desciende verticalmente hasta el caudal requerido, posteriormente se determina el modelo de la bomba.

Tabla. 13. Selección de la Bomba del Sistema de Purificación

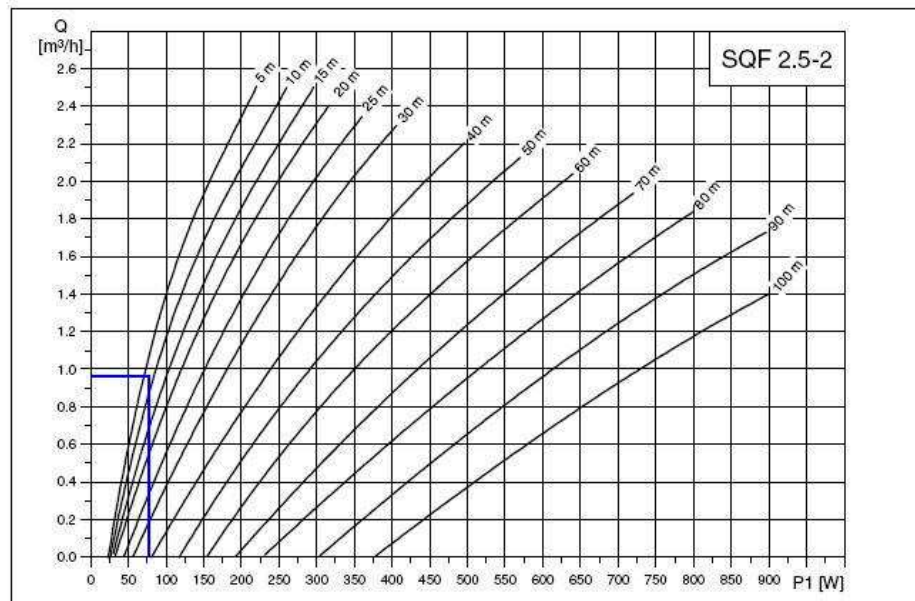
Altura necesaria [m]												
5	10 (A)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Caudal necesario [m³/día]												
22,3	12,1(B)	8,5	4,5	3,1	2,7	2,4	2,1	1,9	1,6	1,4	1,1	0,8
SQF 5A-3	SQF 2,5-2 (C)			SQF 1,2-2	SQF 0,6-2							
52,8	25,7	17,5	12,1	8,5	6,4	5,5	4,7	4,1	3,8	3,5	3,2	2,8
SQF 14A-3	SQF 5A-3	SQF 2,5-2			SQF 1,2-2			SQF 0,6-2				
78,8	40,2	21,5	17,9	14,1	11,1	8,6	7,4	6,7	5,8	5,1	4,3	4,0
SQF 14A-3	SQF 5A-3	SQF 2,5-2					SQF 1,2-2				SQF 0,6-2	
98,6	59,1	29,1	20,4	17,6	15,2	12,7	9,7	8,2	7,5	6,9	6,3	5,7
SQF 14A-3	SQF 5A-6	SQF 2,5-2					SQF 1,2-2					
115	75,0	37,6	22,2	19,5	17,4	15,4	12,9	10,6	8,4	7,9	7,3	6,8
SQF 14A-3	SQF 5A-6	SQF 2,5-2					SQF 1,2-2					

Fuente: Bombas [en línea] Alemania: Grundfos, 2005 [Consultado 10-05-05]. Disponible en Internet: [www.grundfos.com](http://www.grundfos.com)

Según la tabla anterior se puede llegar a la conclusión que la bomba más adecuada es el modelo SQF 2,5-2.

A continuación se ingresa a la gráfica de las curvas características según el modelo de la bomba (SQF 2,5-2), para determinar la potencia requerida.

Fig. 45. Curvas Características de la Bomba (Modelo SQF 2,5-2)



Fuente: Bombas [en línea] Alemania: Grundfos, 2005 [Consultado 10-05-05]. Disponible en Internet: [www.grundfos.com](http://www.grundfos.com)

Como se observa en la figura 45 la potencia requerida para este sistema es 80 W.

Para estos sistemas se debe tener en cuenta las pérdidas en el cableado, conexiones, variaciones en el consumo previstos inicialmente, controlador, etc, el cual se estima en un 15% del consumo total.

De acuerdo con lo anterior tenemos que la potencia total requerida es:

$$P_{Requerida} = 80W + 0,15 * 80W$$

$$P_{Requerida} = 80W + 12W \longrightarrow P_{Requerida} = 92W$$

Ahora determinamos la eficiencia de la bomba con la ecuación 3-17:

$$\eta = \frac{\text{Potencia \_ Añadida \_ al \_ Fluido}}{\text{Potencia \_ Suministrada \_ a \_ la \_ Bomba}} = \frac{P_A}{P_{Requerida}}$$

$$\eta = \frac{22,48W}{92W} \longrightarrow \eta = 24,4\%$$

### 6.3. SELECCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS PARA EL SISTEMA DE PURIFICACIÓN

#### 6.3.1. Vaso de Muestreo

Se selecciona de acuerdo al diámetro de la tubería en la cual va alojado para disminuir costos y trabajo en hacer una ampliación a la entrada y una reducción a la salida o viceversa, pero también de acuerdo al caudal que va a fluir a través de él. Para efectos del ejercicio se trabajó con la información de la empresa BTW Wassertechnik GmbH de Alemania.

En este caso el diámetro de la tubería es ½", pero como el diámetro más pequeño disponible en el fabricante en el cual se basó el cálculo es ¾" y su caudal es  $3 \frac{m^3}{h}$  se seleccionó este modelo.

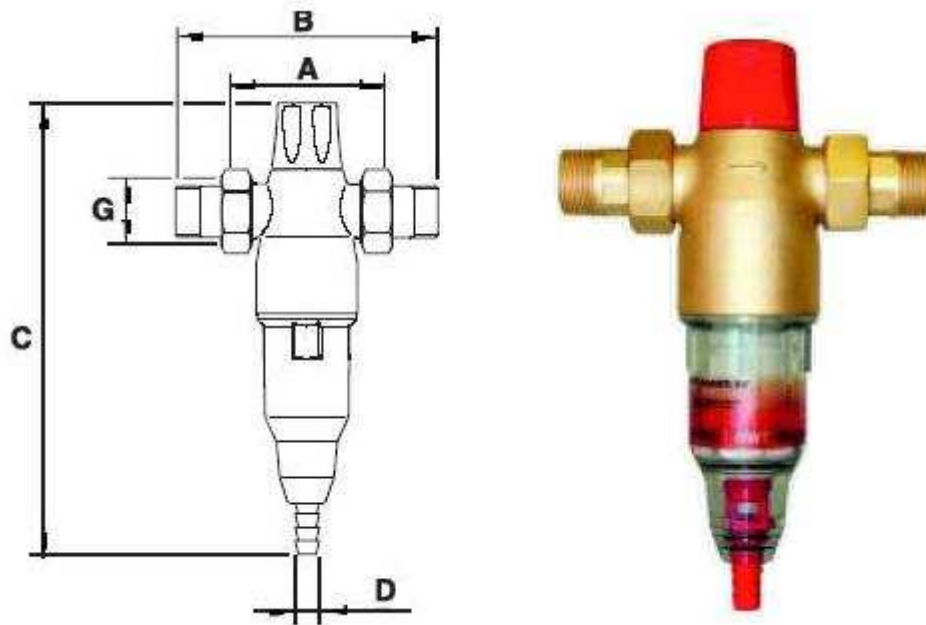
En la siguiente tabla (Tabla 14) se pueden observar las características del vaso y en la figura 46 sus dimensiones.

Tabla. 14. Datos Técnicos del Vaso de Muestreo

Typ		¾"	1"	1 ¼"	1 ½"	2"	
Diámetro nominal	DN	20	25	32	40	50	
Caudal	m³/h	3,0	3,5	4,0	9,0	12,0	
Eficacia del filtro, inferior / superior	µm	90 / 110					
Presión nominal (PN)	bar	10			16		
Temperatura del agua	°C	30					
Temperatura max. del agua	°C	40					
Dimensiones	A	mm	100	100	105	140	140
	B	mm	184	184	203	254	274
	C	mm	278	278	278	370	370
	D	mm	14	14	14	20	20
	G		G 1 ¼"	G 1 ¼"	G 1 ½"	G 2 ¼"	G 2 ¼"
Peso	kg	1,9	2,2	2,4	5	5,4	

Fuente: Vaso de Muestreo [en línea] Alemania: BTW Wassertechnik GmbH, 2005  
[Consultado 16-05-05]. Disponible en Internet: [www.bwt.com](http://www.bwt.com)

Fig. 46. Dimensiones del Vaso de Muestreo



Fuente: Vaso de Muestreo [en línea] Alemania: BTW Wassertechnik GmbH, 2005  
[Consultado 16-05-05]. Disponible en Internet: [www.bwt.com](http://www.bwt.com)

### 6.3.2. Electroválvula

El primer criterio que se debe tener en cuenta para la selección es la aplicación y el fabricante, en este caso se hará con la información de un fabricante Alemán ( Burkert ).

En la aplicación (Tratamiento de agua), tenemos que uno de los modelos que cumple con los requerimientos es el 5281.

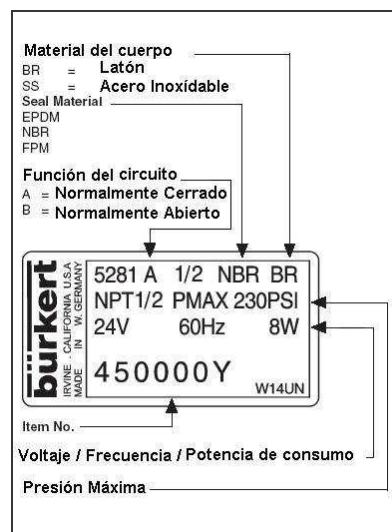
Luego se selecciona de acuerdo al diámetro de la tubería. Tabla 15.

Tabla 15. Características de la Electroválvula Seleccionada

Diámetro [mm]	Caudal [m³/h]	Tipo	Rango de Presión [bar]	Tiempo de Respuesta		Voltaje [V]	Potencia [W]	Peso [kg]	Material
				Abriendo [s]	Cerrando [s]				
13	4,0	G 1/2	0,2-16	0,2 a 0,5	1,0 a 4,0	24	8	0,60	NBR
20	5,0	G 3/4	0,2-16					1,10	NBR
25	10,0	G 1	0,2-16					1,50	NBR
32	20,0	G 1 1/4	0,2-16					2,25	NBR
40	20,0	G 1 1/2	0,2-16					2,65	NBR
50	40,0	G 2	0,2-16					4,95	NBR
65	40,0	G 2 1/2	0,2-16					5,70	NBR

Fuente: Válvulas solenoides [en línea] Alemania: Burkert, 2005 [Consultado 16-05-05]. Disponible en Internet: [www.Burkert.com](http://www.Burkert.com)

Fig. 47 Características Técnicas de la Electroválvula



Fuente: Válvulas solenoides [en línea] Alemania: Burkert, 2005 [Consultado 16-05-05]. Disponible en Internet: [www.Burkert.com](http://www.Burkert.com)

### 6.3.3. Sistema de la Lámpara Ultravioleta (UV)

Con base en los resultados de los cálculos para el caudal y a la aplicación se selecciona el sistema de la lámpara UV de acuerdo a los catálogos de los fabricantes. Para efectos del ejercicio se trabajó con la información de la marca Dulcodes, fabricante de lámparas UV para las aplicaciones que se necesitaban

De los modelos disponibles, el modelo que cumple con la aplicación (agua potable), y con el caudal requerido más económico es el “Tipo P” como se puede observar en la siguiente tabla.

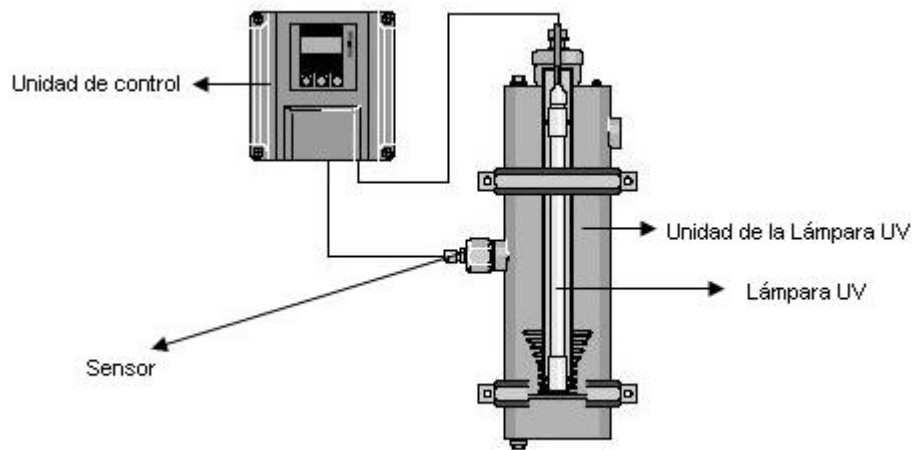
Tabla. 16. Tipos de Sistemas de Lámpara Ultravioleta

	Type P Compacto	Type D Película fina	Type K Plástico	Type Z Certificado	Type W Estándar	Type M Presión- media
Output [m³/h]						
1000						
500						
200						
100						
50						
20						
10						
5						
2						
Agua Potable	✓			✓	✓	✓
Agua de uso general	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Agua de Piscina			✓		✓	✓
Aguas residuales		✓				
Agua salada			✓			

Fuente: Dulcodes UV Systems [en línea] Alemania: Prominet, 2005 [Consultado 18-05-05].  
Disponible en Internet: [www.prominent.co.uk/en/](http://www.prominent.co.uk/en/)

Este sistema contiene la unidad de la lámpara UV, Lámpara UV, un sensor, la unidad de control como se observa en la siguiente figura:

Fig. 48. Partes que Constituyen los Sistemas de Lámpara Ultravioleta



Fuente: Dulcodes UV Systems [en línea] Alemania: Prominet, 2005 [Consultado 18-05-05].  
Disponible en Internet: [www.prominent.co.uk/en/](http://www.prominent.co.uk/en/)

En el modelo “Tipo P” se encuentran 2 opciones, de las cuales se elige el “Tipo 16P” debido a que este cumple con el caudal requerido ( $0,96 \frac{m^3}{h}$ ).

Tabla 17. Selección del Modelo del Sistema de la Lámpara UV

Dulcodes Type	Flujo max. (98 %/cm transm., 400 J/m²) [m³/h]	Potencia de la Lámpara [W]	Carga conectada [W]	Longitud de radiación [mm]	Minimum clear- ance for lamp replacement [mm]	Diámetro [mm]	Peso en vacío/ Peso de funcionamiento [kg approx.]	Diámetro de conexión nominal
16P	1.5	16	30	382	350	114	6/10	G ¾"
45P	3.8	45	60	940	900	114	10/20	G 1 ¼"

Fuente: Dulcodes UV Systems [en línea] Alemania: Prominet, 2005 [Consultado 18-05-05].  
Disponible en Internet: [www.prominent.co.uk/en/](http://www.prominent.co.uk/en/)

Entonces el sistema UV seleccionado es el “Tipo 16P”, el cual puede operar a una presión máxima de operación de 10 bares y tiene una potencia de consumo de  $16W + 30W = 46W$

#### 6.3.4. Filtro de Carbón Activado

El filtro se selecciona de acuerdo al diámetro de la tubería en la cual va alojado, para disminuir costos y trabajo en hacer una ampliación a la entrada y una reducción a la salida o viceversa, pero también de acuerdo al caudal que va a fluir a través de él. Para efectos del ejercicio se trabajó con la información de la empresa BTW Wassertechnik GmbH de Alemania.



En este caso el diámetro de la tubería es ½", pero como el diámetro más pequeño disponible en el fabricante en el cual se basó el cálculo es ¾" y su caudal es  $2 \frac{m^3}{h}$  se seleccionó este modelo.

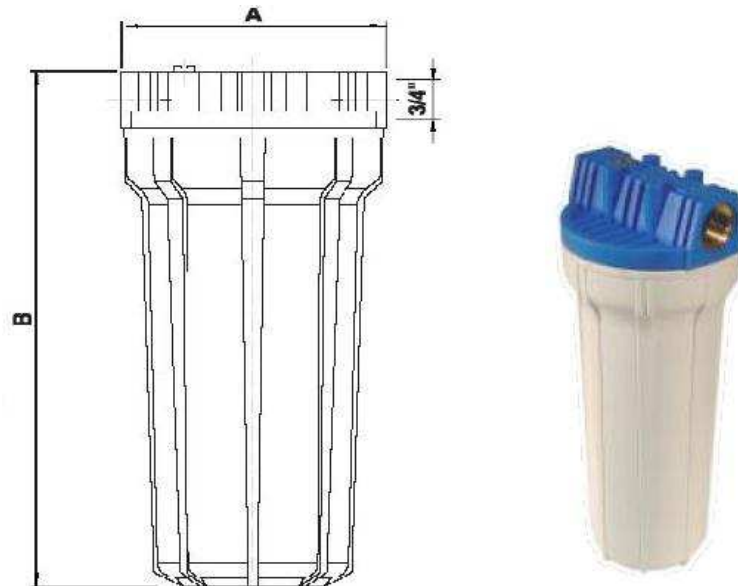
Cada filtro viene con un portafiltros en el cual viene alojado, en la siguiente tabla (Tabla 18) se pueden observar las características del filtro y en la figura 49 las dimensiones del portafiltros.

Tabla 18. Datos Técnicos del Filtro de Carbón Activado seleccionado

Aktivkohlefilter		Typ	DN20
Diámetro nominal	DN		20 (¾")
Caudal	m³/h		2,0
Eficacia del filtro	µm		10
Presión nominal (PN)	bar		8
Presión de operación, min./max.	bar		2/8
Temperatura del agua min./max.	°C		5 / 30
Temperatura ambiente min./max.	°C		5 / 40
Dimensiones	A	mm	122
	B	mm	295

Fuente: Vaso de Muestreo [en línea] Alemania: BTW Wassertechnik GmbH, 2005  
[Consultado 16-05-05]. Disponible en Internet: [www.bwt.com](http://www.bwt.com)

Fig. 49. Dimensiones del Portafiltros.



Fuente: Vaso de Muestreo [en línea] Alemania: BTW Wassertechnik GmbH, 2005  
[Consultado 16-05-05]. Disponible en Internet: [www.bwt.com](http://www.bwt.com)

### 6.3.5. Filtro de Osmosis Inversa

El filtro se selecciona de acuerdo al caudal que va a fluir a través de él. Para efectos del ejercicio se trabajó con la información de la empresa Dulcodes, fabricante de filtros de osmosis inversa.

En la siguiente tabla se muestran los diferentes modelos disponibles:

Tabla 19. Selección del Filtro de Osmosis Inversa

Range	ecoPRO	TW	BW	SW
50				
25				
10				
5				
2.5				
1				
0.5				
0.25				
0.1				

Fuente: Dulcodes UV Systems [en línea] Alemania: Prominet, 2005 [Consultado 18-05-05].  
Disponible en Internet: <http://www.prominent.co.uk/en/>

El modelo que cumple con las especificaciones es el “ecoPRO”.

### 6.3.6. Válvulas Reguladoras de Presión (dos válvulas)

Se seleccionan de acuerdo al diámetro de la tubería en la cual va alojada para disminuir costos y trabajo en hacer una ampliación a la entrada y una reducción a la salida o viceversa.

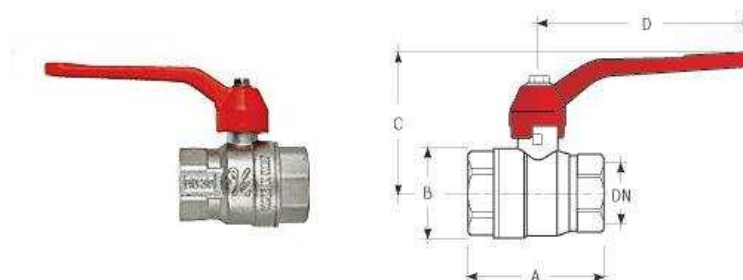
En este caso el diámetro de la tubería es ½”, en la siguiente tabla (Tabla 20) se pueden observar las características de la válvula y en la figura 50 sus dimensiones.

Tabla 20. Datos Técnicos de la Válvula Reguladora de Presión

Medida	Código	A mm	ØB mm	C mm	D mm	ØDN mm	kg	PN bar
1/2"	08007012	45	30	49	85	15	0,145	30
3/4"	08007034	54	32	53	85	20	0,230	30
1"	08007100	64	44	63	105	25	0,385	25
1"1/4	08007114	75	55	69	105	32	0,510	20
1"1/2	08007112	89	66	86	135	40	0,900	15
2"	08007200	105	82	94	135	50	1,360	15
2"1/2	08007212	127	110	119	240	64	3,060	15
3"	08007300	149	135	129	240	76	3,970	15
4"	08007400	185,5	164	153	300	100	7,835	15

Fuente: Accesorios [en línea] México D. F.: Fic, 2005 [Consultado 20-05-05]. Disponible en Internet: <http://www.fic.com>

Fig.50 Dimensiones de la Válvula Reguladora de Presión



Fuente: Accesorios [en línea] México D. F.: Fic, 2005 [Consultado 20-05-05]. Disponible en Internet: <http://www.fic.com>

### 6.3.7. Llave de Suministro de Agua Potable

Se selecciona de acuerdo de acuerdo al diámetro de la tubería en la cual va alojada.

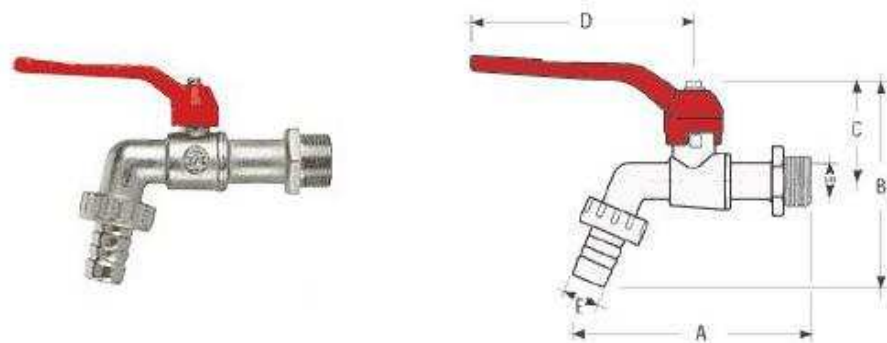
En este caso el diámetro de la tubería es 1/2", en la siguiente tabla (Tabla 21) se pueden observar las características de la válvula y en la figura 51 sus dimensiones.

Tabla 21. Datos Técnicos de la Llave de Suministro de Agua Potable

Medida	Código	A mm	B mm	C mm	D mm	ØE mm	ØDN mm	kg	PN bar
3/8"- 3/4"	08002038	108	93	40	85	15	10	0,260	20
1/2"- 3/4"	08002012	108	93	40	85	15	10	0,260	20
3/4"- 1"	08002034	119	98	40	85	20	12	0,338	20
1"- 1 1/4"	08002100	146	115	43	85	25	15	0,507	20

Fuente: Accesorios [en línea] México D. F.: Fic, 2005 [consultado 20-05-05]. Disponible en Internet: <http://www.fic.com>

Fig. 51. Dimensiones de la Llave de Suministro de Agua Potable



Fuente: Accesorios [en línea] México D. F.: Fic, 2005 [Consultado 20-05-05]. Disponible en Internet: <http://www.fic.com>

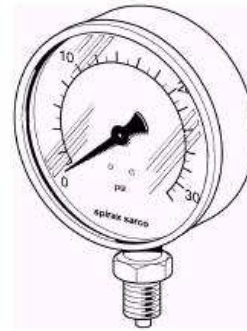
### 6.3.8. Indicadores de Presión (Manómetro)

Se selecciona de acuerdo al rango de presión, se debe tratar que la presión de trabajo esté más o menos en el tercio de la mitad del rango que este nos proporcione.

Como la presión máxima de trabajo es 10 barg (145 psig), entonces se selecciona el siguiente manómetro:

Fig. 52. Manómetro

Pressure ranges	
Range	psig
1	0 - 30
2	0 - 60
3	0 - 100
4	0 - 160
5	0 - 200
6	0 - 30.0 Hg
7	30" Hg - 15 psig
8	30" Hg - 30 psig
9	30" Hg - 60 psig



Fuente: Sistema para el Diseño de Fluidos : Spirax Sarco,2002 [Consultado 20-05-05].

Las especificaciones del manómetro seleccionado son:

**Material:** Acero inoxidable con ventana de Policarbonato

**Rango:** 5

**P.M.O.** (Presión Máxima de Operación): 200 Psig

**Conexión:** NPT

**Diámetro:**  $\frac{1}{4}$ "

#### 6.4. Selección de Dispositivos Electrónicos (Energía Solar)

##### 6.4.1. Regulador de Carga

Se selecciona de acuerdo a la tensión nominal de los equipos que operan en corriente continua.

En la figura 53 se ilustra un esquema del regulador de carga y en la tabla 22 se pueden observar sus respectivas características

Fig.53. Regulador de Carga



Fuente: Regulador de Carga [en línea] Alemania: Selected Electronic Technologies, 2005  
[Consultado 18-05-05]. Disponible en Internet: <http://www.SelectedElectronicTechnologies.de>

Tabla 22. Datos Técnicos del Regulador de Carga

Modelo	CDC 125P	CDC 225P
Tensión Nominal	12V	24V
Tensión de los Generadores Solares	25V	50V
Corriente Nominal de los Generadores Solares	2x 10A	2x 10A
Corriente de Consumo	25 mA	30mA
Peso	1,6 Kg	
Dimensiones b x h x t	290mm x 220mm x 90mm	
Temperatura Máxima Permisible	- 40°C hasta + 80°C	

Fuente: Regulador de Carga [en línea] Alemania: Selected Electronic Technologies, 2005  
[Consultado 18-05-05]. Disponible en Internet: <http://www.SelectedElectronicTechnologies.de>

#### 1. Cálculo del consumo diario en (Ah)

Se determina a partir de la potencia consumida por cada uno de los equipos, la tensión nominal y su tiempo de funcionamiento.

Con la siguiente ecuación se determina el consumo diario de cada componente del sistema:

$$\text{Consumo(Ah)} = I * t \quad \text{dónde} \quad I = \frac{P}{V}$$

En la siguiente tabla se registran los valores obtenidos para cada uno de los equipos:

Tabla 23. Energía Total necesaria para el Sistema de Purificación de Agua

Cantidad	Equipo	Potencia (W)	Potencia subtotal (W)	Horas / Día de uso (h)	Tensión Nominal (V)	Consumo (Ah/Día)
1	Bomba sumergible	92	92	24	230	9,60
2	Electroválvulas	8	16	4	24	2,67
1	Unidad de la Lámpara UV	16	16	24	230	1,67
1	Lámpara UV	30	30	24	230	3,13
<b>Total (Ah/Día)</b>						<b>17,07</b>

Como se debe estimar las pérdidas que se ocasionan en cables, conexiones, regulador, etc, de las cuales ya se dijo es aproximadamente el 15% del consumo total es:

$$\text{Consumo total} = 17,07 \frac{\text{Ah}}{\text{Día}} + 17,07 \frac{\text{Ah}}{\text{Día}} * 0,15$$

$$\text{Consumo total} = 19,63 \frac{\text{Ah}}{\text{Día}}$$

Como el sistema debe tener 3 días de autonomía, entonces la energía que debe haber disponible es:

$$[Ah]_{\text{Totales}} = \frac{\text{Consumo}_{\text{total}}}{\text{Día}} * 3$$

$$[Ah]_{\text{Totales}} = 19,63 \frac{\text{Ah}}{\text{Día}} * 3 \longrightarrow [Ah]_{\text{Totales}} = 58,89 \frac{\text{Ah}}{\text{Día}}$$

#### 6.4.2. Módulos Solares

Para garantizar una mayor confiabilidad al sistema se recomienda incrementar la energía total en un factor 1,2.<sup>20</sup>

<sup>20</sup> Energía, sus perspectivas, su conversión y utilidades en Colombia. Empresa de Energía de Bogotá S.A. y Universidad Nacional de Colombia.

$$I_{Sistema\_FV} = 1,2 * ([Ah]_{Totales}) \longrightarrow I_{Sistema\_FV} = 70,67 \frac{Ah}{Dia}$$

Según la Tabla 11. Se selecciona el valor menor de irradiación solar, debido a que es el más crítico, lo cual indicaría que se cumple con todos los demás.

$$E_3 = 4,17 \text{Kwh/m}^2/\text{Día}$$

Para determinar la energía en amperios hora por día  $[Ah/Dia]$  se utiliza la siguiente ecuación:

$$K [Ah/dia] = \frac{E \left[ \frac{KWh}{m^2 * dia} \right] * I_{MPP} [A]}{1 \frac{KW}{m^2}}$$

Dónde:

K = Cantidad de amperios hora por día de corriente disponible

E = Irradiación solar en kilovatios hora por metro cuadrado por día (depende de la ubicación geográfica del lugar)

I<sub>MPP</sub> = Corriente de máximo pico en el modulo solar

En este caso se seleccionaron módulos de potencia igual a 100W:

$$E_{Modulo} [Ah/Dia] = \frac{4,17 \frac{KWh}{m^2.Dia} * 2,9 A}{1 \frac{KW}{m^2}} \longrightarrow E_{Modulo} [Ah/Dia] = 12,1 \frac{Ah}{Dia}$$

Luego se calcula el número de módulos solares (N) conectados en paralelo:

$$N_{Modulos\_paralelo} = \frac{I_{Sistema\_FV}}{E_{Modulo}} \longrightarrow N_{Modulos\_paralelo} = \frac{70,67 \frac{Ah}{Dia}}{12,1 \frac{Ah}{Dia}}$$

$$N_{Modulos\_paralelo} = 5,84 \approx 6 \text{ (Número de módulos solares necesarios)}$$

### 6.4.3. Baterías

Las baterías deben tener una profundidad máxima de descarga, para la cual se recomienda sea de un 80%, entonces:



$$E_{\text{Baterías}} = \frac{70,67 Ah}{0,8} \quad E_{\text{Baterías}} = 88,34 Ah$$

Para este caso se utilizarán baterías:

Tabla 24. Datos Técnicos de la Batería

Tipo	Voltaje Nominal (V)	Capacidad Nominal (Ah)	Autodescarga $I_{100}$ (A)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Altura ( $h_1$ ) (mm)	Altura total ( $h_2$ ) (mm)	Peso (Kg)	Posición de Terminal
SB6/200 A	6	200	2.00	190	244	254	275	31	4

Fuente: Baterías Sonnenschein [en línea] Alemania: Industrial Batteries, 2005 [Consultado 22-05-05]. Disponible en Internet: [http:// www Sonnenschein.de](http://www.Sonnenschein.de)

$$N^{\circ} \text{ Baterías serie} = \frac{V_{\text{Nominal\_de\_consumo}}}{V_{\text{Nominal\_de\_la\_Bateria}}}$$

$$N^{\circ} \text{ Baterías serie} = \frac{24V}{6V} \longrightarrow N^{\circ} \text{ Baterías serie} = 4$$

$$N^{\circ} \text{ Baterías paralelo} = \frac{E_{\text{Disponible\_Banco\_Baterias}}}{\text{Capacidad\_Carga\_Bateria}}$$

$$N^{\circ} \text{ Baterías paralelo} = \frac{88,34 Ah}{200 Ah} \longrightarrow N^{\circ} \text{ Baterías paralelo} = 0,46 \approx 1$$

Entonces según lo anterior se conectan 4 baterías en serie.

#### 6.4.4. Inversor

Se selecciona de acuerdo a la tensión nominal de las baterías, tensión a la salida y a la potencia de los equipos que van conectados a él.

$$Tensiom\_Nominal_{\text{Baterías}} = 24V$$

$$Potencia = (92 + 16 + 30)W \longrightarrow Potencia = 138W$$

$$Tensiom\_Salida = 230V$$

Para efectos del ejercicio se trabajó con la información de la marca Mastervolt, fabricante Alemán de inversores para las aplicaciones que se necesitaban.

En la siguiente tabla se selecciona el modelo del inversor:

*Tabla 25. Especificaciones Técnicas del Inversor*

Especificaciones Técnicas				
GENERAL				
Modelo	Sine 12/250-230V	SINE 24/250-230V	Sine 12/250-117V	SINE 24/250-117V
Número de Artículo	26010250	260020250	27010250	270020250
Temperatura de operación	0 °C to 40 °C (derating of 2,5% / °C >40°C)			
Peso	2,7kg			
Dimensiones ( HxWxD )	185 x 120 x 73mm			
INPUT				
Voltaje de Entrada	12V DC	24V DC	12V DC	24V DC
Rango del Voltaje de Entrada	10-15,5V DC	20-31V DC	10-15,5V DC	20-31V DC
Entrada de Corriente Nominal	16A	10A	16A	10A
Eficiencia Máxima	92%			
OUTPUT				
Voltaje en AC	230V pure sine wave		117V pure sine wave	
Frecuencia	50Hz ±0,1Hz		60Hz ±0,1Hz	
Tasa de Potencia	250VA, 200W			

*Fuente: Inversores [en línea] Alemania: mastervolt, 2005 [Consultado 06-05-05]. Disponible en Internet: <http://www.mastervolt.com>*

*Fig. 54. Inversor*



*Fuente: Inversores [en línea] Alemania: mastervolt, 2005 [Consultado 06-05-05]. Disponible en Internet: <http://www.mastervolt.com>*

#### **6.4.5. Unidad Lógica**

Se programa a través de un computador mediante un programa llamado Logo, en donde se ingresa la manera de funcionamiento del sistema.

En la siguiente figura se puede observar un esquema de la unida lógica:

*Fig. 55. Unidad Lógica*

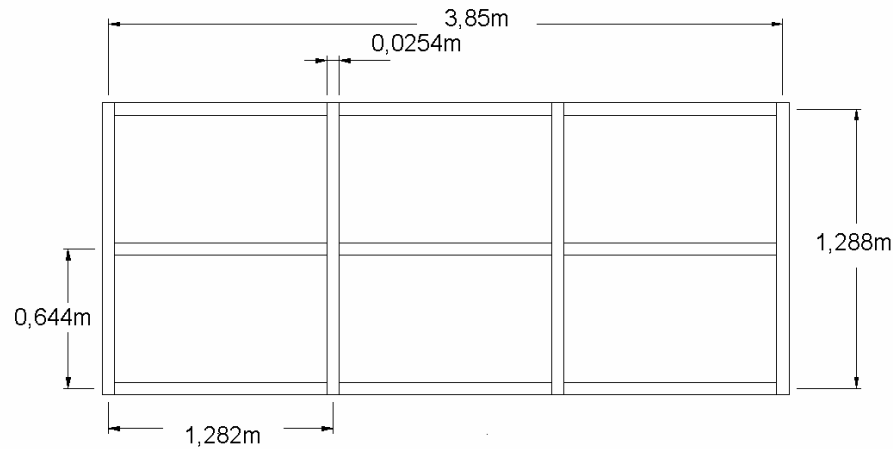


*Fuente: Unidad Lógica [en línea] Alemania: Hensel\_Electric, 2005 [Consultado 06-05-05]. Disponible en Internet: [http://www.Hensel\\_electric.de](http://www.Hensel_electric.de)*

## **7. CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA (ALUMINIO) DEL TECHO.**

Para el montaje de los módulos se ha efectuado un prediseño de la geometría, en cual se presenta en la siguiente figura:

*Fig. 56. Geometría de la Estructura de los Módulos*

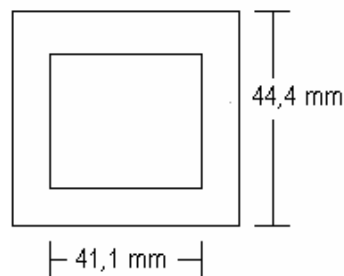


Como se necesita un perfil con lados planos para que exista un contacto plano entre la estructura con el marco del módulo solar, entonces se hizo un análisis para perfil en L y tubo cuadrado, de acuerdo a esto se determinó que la sección transversal mas conveniente es la cuadrada, ya que con las mismas dimensiones, la comparación de los esfuerzos no fue muy significativo, y el costo del perfil en L es un poco mayor que el de tubo cuadrado.

Al final de los cálculos con el tubo cuadrado se muestra una comparación en cuanto a los esfuerzos, y sus costos. (Tabla 27).

Para encontrar una sección transversal que cumpla con los requerimientos de diseño, se debe iterar varias veces, en este caso se obtuvo la siguiente:

*Fig. 57. Sección Transversal de la Viga*



De acuerdo a lo anterior se determina la longitud total de toda la tubería de perfil cuadrado que se utilizó en la estructura:

$$Longitud = (1,288.\frac{m}{tramo})(4tramos) + (3,85.\frac{m}{tramo})(3tramos)$$

$$Longitud = 16,70m$$

Luego se determina el peso total de la estructura según información de la empresa distribuidora metálica. SA de C.V (Tabla 26).

Como el peso por metro de tubo esta dado por:

$$W = 0,771 \frac{Kg}{m}$$

Entonces el peso total de la estructura es:

$$W_{Total} = 0,771 \frac{Kg}{m} * 16,70m \longrightarrow W = 12,87Kg$$

Tabla 26. Dimensiones Estandarizadas de Tubería Cuadrada de Aluminio

MEDIDA EXTERIOR		ESPESOR DE PARED		PESO APROX.
				X MT. LINEAL
mm	Pulg.	Mm	Pulg.	Kg.
9.5	3/8	0.80	0.032	0,072
12.7	1/2	1.65	0.065	0.198
19.0	3/4	1.27	0.050	0.238
		1.65	0.065	0.313
25.4	1	1.65	0.065	0.442
31.8	1 1/4	1.65	0.065	0.555
38.1	1 1/2	1.65	0.065	0.670
44.4	1 3/4	1.65	0.065	0.771
50.8	2	1.65	0.065	0.891
63.5	2 1/2	2.00	0.078	1.327
76.2	3	2.00	0.078	1.640

Fuente: Tubos cuadrados [en línea] México: Tomada de Distribuidora metálica S.A., 2004 [Consultado 06-05-05]. Disponible en Internet: <http://www.Distribuidora metálica S.A.com>

Luego se determina el peso de los módulos solares (en este caso se realizó con el fabricante RWE Schott Solar, que es una empresa Alemana), de la siguiente manera:

$$P_{Panel} = 8,5 \frac{Kg}{Panel} * N \quad , \text{ donde } N \text{ es el número de paneles solares.}$$

$$P_{Panel} = 8,5 \frac{Kg}{Panel} * 6 \text{ paneles} \longrightarrow P_{Panel} = 51Kg$$

Con este valor se procede a determinar la carga distribuida (módulos solares) a lo largo de la viga:

$$F = \left( \frac{51Kg}{3,85m} \right) * g \longrightarrow F = 129,95 \frac{N}{m}$$

Ahora se determina el momento de inercia se calcula de la siguiente manera:

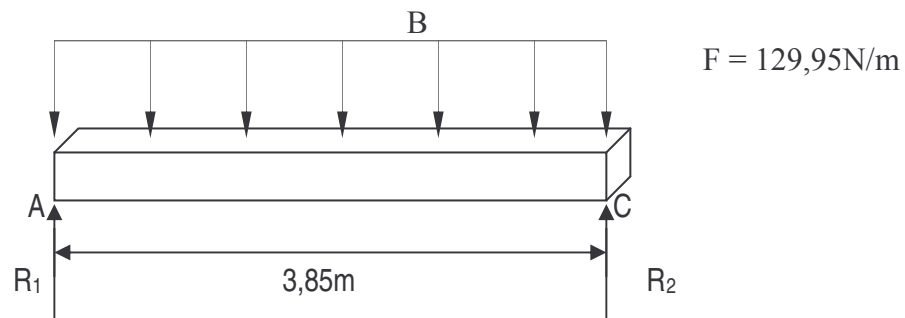
$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(44,4 * 10^{-3} m) * (44,4 * 10^{-3} m)^3 - (41,1 * 10^{-3} m) * (41,1 * 10^{-3} m)^3}{12}$$

$$I = 8,61 * 10^{-8} m^4$$

$$y = \frac{L}{2} = 22,2 * 10^{-3} m$$

Ahora se procede a elaborar el diagrama de cuerpo libre (DLC) de la viga.

Fig. 58. Diagrama de Cuerpo Libre de la Viga de la Estructura de los Módulos



Luego se calculan las reacciones:

$$\sum M_{R_2} = 0 = -R_1(3,85m) - (3,85m) * (129,95 \frac{N}{m}) * (\frac{3,85m}{2})$$

$$\sum M_{R_2} = 0 = -R_1(3,85m) + 500,3 \left( \frac{3,85}{2} \right)$$

$$R_1 = 250,15N$$

$$\sum f_y = 0 = R_1 - 500,3 + R_2$$

$$R_2 = -R_1 + 5561,8$$

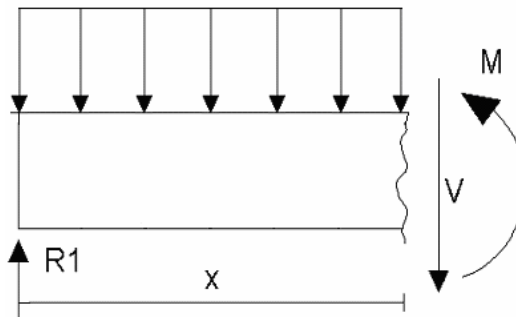
$$R_2 = -R_1 + 500,3$$

$$R_2 = 250,15N$$

Ahora se determinan los diagramas de fuerza cortante, momento y deflexión según el método de las secciones:

- Se realiza un corte entre los puntos A y B.

Fig. 59. Diagrama de Cuerpo Libre entre los Puntos A y C



Luego se procede a calcular las ecuaciones que determinan el comportamiento del momento y de la fuerza cortante:

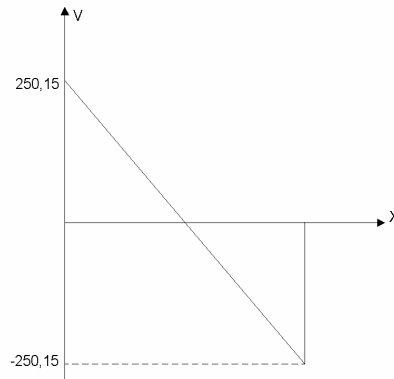
$$\sum M_{Corte} = 0 = M - 250,15N(x) + \frac{F}{2} \frac{N}{m} (x^2)$$

$$M = 250,15x - 64,97x^2$$

$$\sum f = 0 = -V + 250,15N - 129,95 \frac{N}{m} (x)$$

Ahora se elaboran las gráficas:

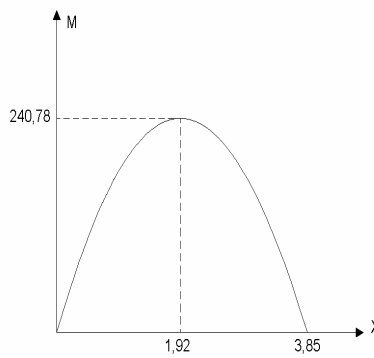
Fig. 60. Diagrama de Cortantes de la Viga de la Estructura de los Módulos



- De la gráfica anterior se puede concluir que el cortante máximo es :

$$V_{\max} = 250,15 \text{ N}$$

Fig. 61. Diagrama de Momentos de la Viga de la Estructura de los Módulos



- De la gráfica anterior podemos concluir que el momento máximo se da en el centro de masa de la viga y es :

$$M_{\max} = 240,78 \text{ Nm}$$

Para determinar la deflexión que tiene esta viga, se calcula mediante el método de la doble integral:

$$\theta = \int \frac{M}{EI} dx \rightarrow \theta_1 = \frac{1}{EI} \left( \frac{250,15}{2} x^2 - \frac{64,97}{3} x^3 + C_1 \right)$$

$$y = \int \theta dx = \frac{1}{EI} \left( \frac{250,15}{6} x^3 - \frac{64,97}{12} x^4 + C_1 x + C_2 \right)$$



En una simplemente articulada, la deflexión es igual a cero en los apoyos, las constantes  $C_1$  y  $C_2$  se determinan sustituyendo en las condiciones limite  $x = 0, y = 0$  y en  $x = 3,85, y = 0$

Para determinar  $C_2$ :

$$y = 0 = \frac{1}{EI} \left( \frac{250,15}{6} (0)^3 - \frac{64,97}{12} (0)^4 + (0)C_1 + C_2 \right) \longrightarrow C_2 = 0$$

Para determinar  $C_1$

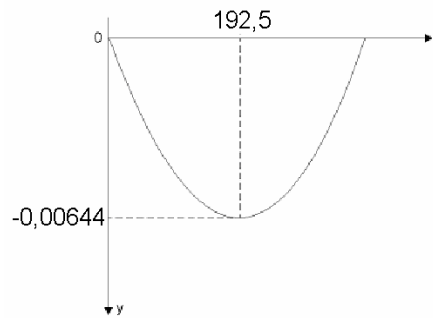
$$y = 0 = \frac{1}{EI} \left( \frac{250,15}{6} (3,85)^3 - \frac{64,97}{12} (3,85)^4 + (3,85)C_1 + 0 \right)$$

$$y = 0 = \frac{1}{(70 \cdot 10^9 \text{ pa})(7,84 \cdot 10^{-8})} (0,21 + 7,01 \cdot 10^{-4} C_1)$$

$$C_1 = \frac{-0,21}{7,01 \cdot 10^{-4}} \longrightarrow C_1 = -299,57$$

Ahora se procede a elaborar la gráfica de deflexión de la viga

Fig. 62.. Diagrama de Deflexión de la Viga de la Estructura de los Módulos



- De la gráfica anterior se puede concluir que la deflexión máximo se da en el centro de masa de la viga y es :

$$y_{\max} = 0,00644\text{m}$$

Luego se calculan los esfuerzos  $\sigma_{\max}$  y  $\tau_{\max}$  y se comparan con los experimentales para verificar si falla o no falla.

Datos experimentales:

$$\sigma_{Admisible} = 110 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{Admisible} = 70 \text{ Mpa}$$

$$E = 70 \text{ Gpa}$$

Primero hallamos el esfuerzo normal

$$\sigma_{Max} = \frac{-M_{Max} * y}{I}$$

$$\sigma_{max} = \frac{240,78 \text{ Nm} * 22,2 * 10^{-3} \text{ m}}{8,61 * 10^{-8} \text{ m}^4} \longrightarrow \sigma_{max} = 62,10 \text{ Mpa}$$

Luego se determina el factor de seguridad (Fs).

$$Fs = \frac{\sigma_{Admisible}}{\sigma_{Maximo}} = \frac{110 \text{ Mpa}}{62,10 \text{ MPa}} \longrightarrow Fs = 1,77$$

Luego se calcula el esfuerzo a cortante máximo.



$$\tau_{Max} = \frac{3V_{Maximo}}{2A}$$

$$\tau_{Max} = \frac{3 * (250,15 \text{ N})}{2 * \left( (44,4 * 10^{-3})^2 - (44,1 * 10^{-3})^2 \right)} \longrightarrow \tau_{Max} = 1,33 \text{ Mpa}$$

$$Fs = \frac{\tau_{Admisible}}{\tau_{Maximo}} = \frac{70 \text{ Mpa}}{1,77 \text{ MPa}} \longrightarrow Fs = 39,5$$

En la siguiente tabla se muestra una comparación de esfuerzos entre los dos perfiles ya mencionados (Tubo cuadrado y perfil en L):

Tabla 27. Comparación de Esfuerzos en 2 Perfiles

Perfil de aluminio	Dimensiones		$\sigma(\text{Mpa})$			$\tau(\text{Mpa})$			COSTOS X M.
	Lado(mm)	Espesor(mm)	$\sigma_{max}$	$\sigma_{adm}$	Fs	$\tau_{max}$	$\tau_{adm}$	Fs	
	44,4	1,65	62,10	110	1,77	1,33	70	39,5	\$6.000
	38,1	3,2	79,10	110	1,39	1,61	70	43,48	\$5.500

## 8. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DEL TECHO

Para analizar las vigas del techo y verificar si estas son capaces de soportar el peso de los módulos solares y la estructura que los soporta, las láminas de Colombit que lo conforman, además del peso de las personas que estarán haciendo el montaje, procedemos de la siguiente manera:

Para determinar el peso de cada lámina por metro cuadrado se procedió según la información de la fábrica Colombit, la cual nos dice que la relación de peso en cuanto a su área es la siguiente:

$$P_{L\grave{a}min a} = \frac{27,75Kg}{(1,69m) * (0,991m)} \longrightarrow P_{L\grave{a}min a} = \frac{27,75Kg}{(1,67m^2)}$$

$$P_{L\grave{a}min a} = 16,47 \frac{Kg}{m^2}$$

Del cálculo anterior se tiene que los módulos solares tiene un peso de 51Kg, como es una carga relativamente pequeña, se va a tomar como una carga puntual y se determina de la siguiente manera:

$$P_{Panel} = 8,5 \frac{Kg}{Panel} * 6 paneles \longrightarrow P_{Panel} = 51Kg$$

Como el peso de una persona adulta esta aproximadamente en un rango entre 75Kg y 80Kg entonces suponemos un peso en el valor medio igual a 77,5Kg, ahora se supone que cinco personas van a realizar el montaje de los módulos solares en el techo, y que para una situación extrema, todo este peso quede concentrado en el centro de la viga, entonces tenemos que:

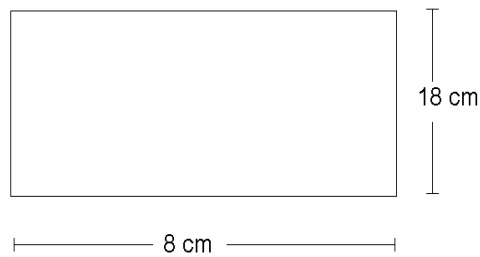
$$P_{Personas} = 5 personas * \frac{77,5Kg}{Persona} \longrightarrow P_{Personas} = 387,5Kg$$

Como el peso de la estructura que soporta los paneles solares es pequeño en comparación con los demás, este se podría tomar como una carga puntual en el centro de masa de la viga:

$$W = 12,87Kg$$

En la siguiente figura se muestra la sección transversal de una de las vigas que están soportando el techo de la casa de la finca:

Fig. 63. Sección Transversal de la Viga de la Casa



Ahora se procede a determinar las fuerzas presentes en la viga del techo.

Para determinar la fuerza que va en el centro de la viga, procedemos de la siguiente manera:

$$F = (P_{personas} + P_{panel} + W) * g, \text{ donde N es el número de módulos solares}$$

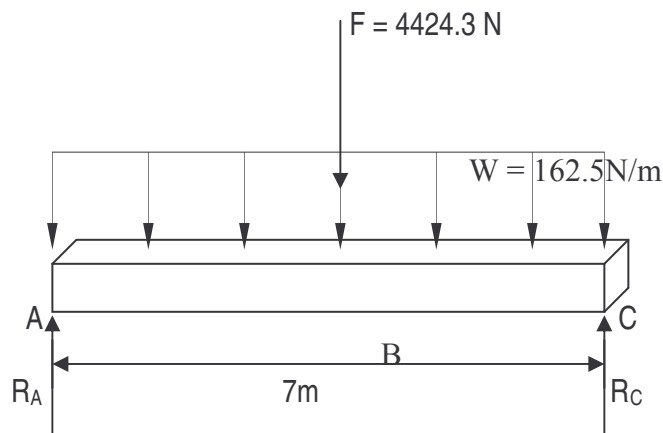
$$F = (387,5Kg + 51Kg + 12,87Kg) \longrightarrow F = 4424,3N$$

Luego se determina el peso por unidad de longitud (carga distribuida) de las láminas que conforman el techo.

$$F = (16,47Kg) * 9,81 \frac{m}{s^2} \longrightarrow F = 162,5N/m$$

Ahora se procede a elaborar el diagrama de cuerpo libre (DLC) de la viga del techo.

Fig. 64. Diagrama de Cuerpo Libre de la Viga del Techo de la Casa



Posteriormente se calculan las reacciones en los apoyos:

$$\sum M_C = 0 = -R_A(7m) + 5561,8(3,5)$$

$$R_A = \frac{19466,3}{7} \longrightarrow R_A = 2780,9N$$

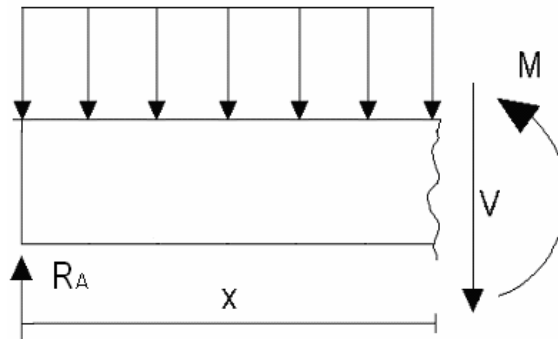
$$\sum f_y = 0 = R_A - 5561,8 + R_C$$

$$R_C = -R_A + 5561,8 \longrightarrow R_C = 2780,9N$$

Ahora se determinan los diagramas de fuerza cortante, momento y deflexión según el método de las secciones:

- Se realiza un corte entre los puntos A y B.

Fig. 65. Diagrama de Cuerpo Libre entre los Puntos A y B



Entonces las ecuaciones que determinan el comportamiento del momento y de la fuerza cortante en este tramo son:

$$\text{En } 0 \leq x < 3,5$$

$$\sum M_{\text{Corte}} = 0 = M - 2780,9N(x) + 162,5 \frac{N}{m}(x) \left( \frac{x}{2} \right)$$

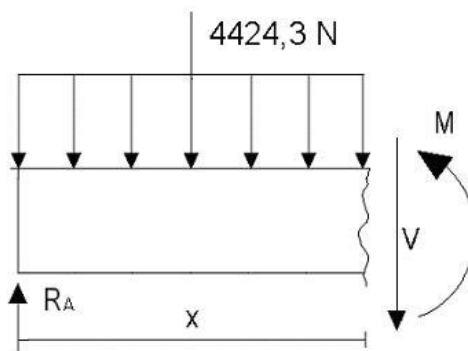
$$M = 2790,9x - 81,25x^2$$

$$\sum f = 0 = -V + 2780,9N - 162,5 \frac{N}{m}(x)$$

$$V = -162,5x + 2780,9$$

- Luego se realiza un corte entre los puntos B y C

Fig. 66. Diagrama de Cuerpo Libre entre los Puntos B y C



Entonces las ecuaciones que determinan el comportamiento del momento y de la fuerza cortante en este tramo son:

$$\sum M_{Corte} = 0 = M - R_A(x) + 4424,3(x - 3,5) + W\left(\frac{x}{2}\right)(x)$$

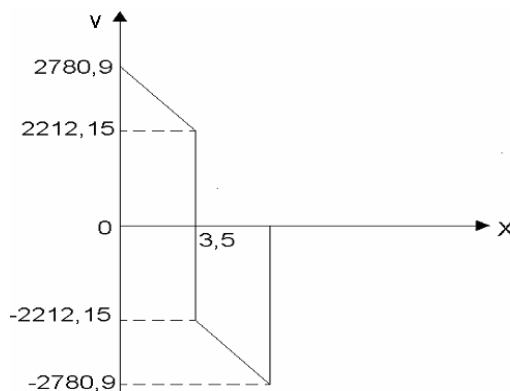
$$0 = M - 2790,9x + 4424,3x - 15485,1 + 81,25x^2$$

$$M = -81,25x^2 - 1643x + 15485,1$$

$$\sum f = 0 = -V + 2780,9N - 4424,3N - 162,5\frac{N}{m} \longrightarrow V = -162,5x - 1643,4$$

Ahora se elaboran las gráficas:

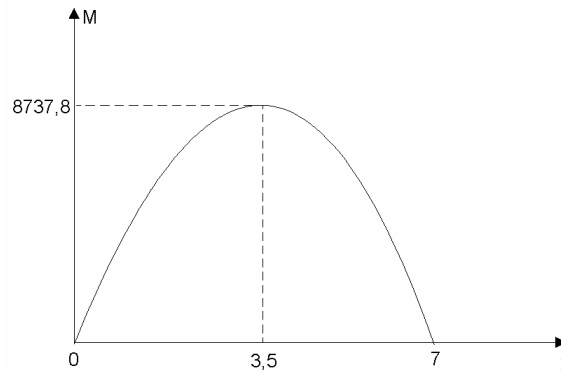
Fig. 67. Diagrama de Cortantes de la Viga del Techo



- De la gráfica anterior podemos concluir que el cortante máximo es :

$$V_{\max} = 2780,9 \text{ N}$$

Fig. 68. Diagrama de Momentos de la Viga del Techo



- De la gráfica anterior podemos concluir que el momento máximo se da en el centro de masa de la viga y es :

$$M_{\max} = 8737,8 \text{ Nm}$$

Para determinar la deflexión se aplica el método de al doble integral:

$$\theta_1 = \int \frac{M}{EI} dx \rightarrow \theta_1 = \frac{1}{EI} \left( 2780,9x - \frac{81,25}{3}x^3 + C_1 \right)$$

$$y_1 = \frac{1}{EI} \left( \frac{2780}{2}x^2 - \frac{81,25}{12}x^4 + C_1x + C_2 \right)$$

$$\theta_2 = \int \frac{M}{EI} dx \rightarrow \theta_2 = \frac{1}{EI} \left( \frac{-81,25}{3}x^3 - \frac{1643,4}{2}x^2 + 15485,1x + C_1 \right)$$

$$y_2 = \frac{1}{EI} \left( \frac{-81,25}{12}x^4 - \frac{1643,4}{6}x^3 + \frac{15485,1}{2}x^2 + C_1x + C_2 \right)$$

Dónde en momento de inercia (I) esta dado por:

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{0,08m * (0,18m)^3}{12} = 3,9 * 10^{-5} m^4$$

$$y = 0,09m$$

y = Distancia de la fibra más alejada del centro de masa de la viga

De acuerdo a la figura 37, se tiene que la viga es simplemente articulada, en la cual la deflexión es igual a cero en los apoyos, las constantes  $C_1$  y  $C_2$  se determinan sustituyendo en las condiciones limite  $x = 0$ ,  $y = 0$  y en  $x = 7$   $y = 0$

Para determinar  $C_2$  reemplazamos la primera condición límite en la ecuación de deflexión:

$$y = 0 = \frac{1}{EI} \left( \frac{-81,25}{12} (0)^4 - \frac{1643,4}{6} (0)^3 + \frac{15485,1}{2} (0)^2 + (0)C_1 + C_2 \right)$$

$$C_2 = 0$$

Para determinar  $C_1$  reemplazamos la segunda condición límite en la ecuación de deflexión:

$$y = 0 = \frac{1}{EI} \left( \frac{-81,25}{12} 7^4 - \frac{1643,4}{6} 7^3 + \frac{15485,1}{2} 7^2 + C_1 7 + C_2 \right)$$

$$y = 0 = \frac{1}{EI} (111102,7 + C_1 7)$$

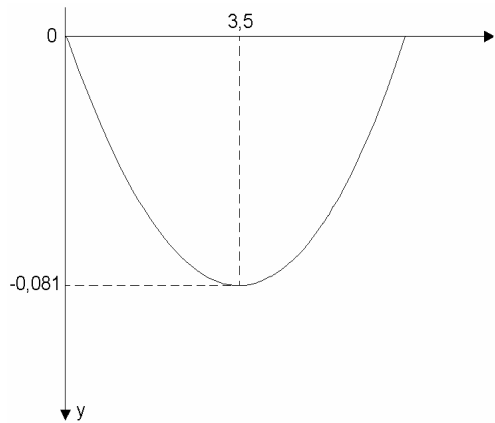
$$y = 0 = \frac{1}{(11 * 10^9 \text{ pa})(3,9 * 10^{-5})} (111102,7 + C_1 7)$$

$$y = 0 = 0,25 + 1,63 * 10^{-5} C_1 \longrightarrow C_1 = -15337$$



Ahora se procede a elaborar la gráfica de deflexión de la viga

Fig. 69. Diagrama de Deflexión de la Viga del Techo



- De la gráfica anterior podemos concluir que la deflexión máximo se da en el centro de masa de la viga y es :

$$y_{\max} = 0,081\text{m}$$

Según las graficas se tiene que:

$$\sigma_{\text{Max}} = \frac{-M_{\text{Max}} * y}{I} \longrightarrow \sigma_{\text{Max}} = \frac{-8737,8 * (0,09\text{m})}{3,9 * 10^{-5}}$$

$$\sigma_{\text{Max}} = 20,1\text{Mpa}$$

$$\tau_{\text{Max}} = \frac{3 * V_{\text{Max}}}{2A}, \text{ donde } A = \text{Área de la viga}$$

$$\tau_{\text{Max}} = \frac{3 * V_{\text{Max}}}{2A} \longrightarrow \tau_{\text{Max}} = 2,90\text{Mpa}$$

De acuerdo al material tenemos madera (para el caso Abeto occidental) donde:

$$\sigma_{\text{Adm}} = 50\text{Mpa} \quad \tau_{\text{Adm}} = 10\text{Mpa}$$

$$Fs = \frac{\sigma_{\text{Admisible}}}{\sigma_{\text{Maximo}}} = \frac{50\text{Mpa}}{20,1\text{Mpa}} = 2,49$$

$$F_s = \frac{\tau_{Admisible}}{\tau_{Maximo}} = \frac{10Mpa}{2,9Mpa} = 3,45$$

Lo cual indica que la estructura del techo si va a soportar las cargas.

En la siguiente tabla se hace una comparación de los esfuerzos que se presentan en la viga:

*Tabla. 28. Determinación del Comportamiento de las Vigas del Techo*

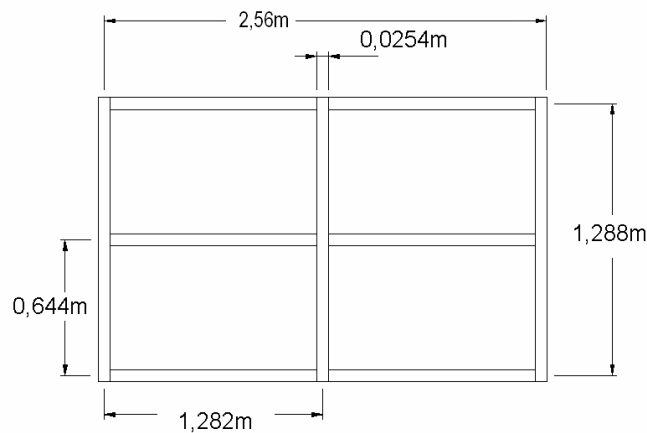
Características de la viga	Esfuerzo calculado (Mpa)	Esfuerzos admisibles (Mpa)	Factor de seguridad Fs	Se necesitaría reforzar o modificar el techo
$\sigma$	20,10	50	1,77	NO
$\tau$	2,9	10	3,45	NO

### 9. CÁLCULO DEL MÁSTIL (ALUMINIO) DE LOS MÓDULOS SOLARES.

Para calcular el mástil (columna) que soporta los módulos solares que alimentan a la bomba que se encuentra en el tanque de acopio #1 se procede de la siguiente manera:

Como ya se observó que la estructura de aluminio que se calculó para el techo si soportaría los módulos solares, entonces omitimos ese cálculo, se colocará una estructura de geometría similar a la del techo, pero más pequeña, debido a que solo se necesitarán 4 módulos solares, en la siguiente figura se muestran las dimensiones:

Fig. 70. Geometría de la Estructura de los Módulos



De acuerdo a lo anterior se determina la longitud total de toda la tubería de perfil cuadrado que se utilizó en la estructura:

$$\text{Longitud} = (1,288 \cdot \frac{m}{\text{tramo}})(3\text{tramos}) + (2,56 \cdot \frac{m}{\text{tramo}})(3\text{tramos})$$
$$\text{Longitud} = 11,54m$$

Luego se determina el peso total de la estructura de acuerdo a la Tabla 10.

Como el peso por metro de tubo esta dado por:

$$W = 0,771 \frac{Kg}{m}$$

Entonces el peso total de la estructura es:

$$W_{\text{Total}} = 0,771 \frac{Kg}{m} * 11,54m \longrightarrow W = 8,90Kg$$

Ahora se determina el peso de los módulos solares (fabricante RWE Schott Solar) de la siguiente manera:

$$P_{Panel} = 8,5 \frac{Kg}{Panel} * N \quad , \text{ donde } N \text{ es el número de paneles solares.}$$

$$P_{Panel} = 8,5 \frac{Kg}{Panel} * 4 \text{ paneles} \longrightarrow P_{Panel} = 34Kg$$

Con estos valores se procede a determinar las cargas axiales a las cuales va a estar sometida la columna.

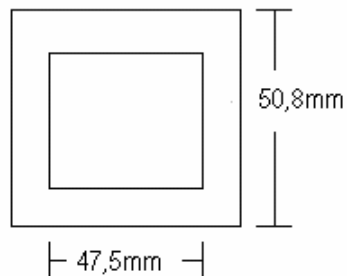
$$F_c = (8,90Kg + 34Kg) * 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_c = 420,85N$$

Luego se procede a determinar el tipo de perfil que se va a utilizar, en este caso se podrían utilizar 2 tipos, tubo cuadrado y tubo redondo. Para este requerimiento se va utilizar tubo cuadrado, debido a que este soporta una mayor cantidad de carga, al final de los cálculos se podrá observar una comparación de los 2 tipos de perfiles (Tabla 29).

Para encontrar una sección transversal que cumpla con los requerimientos de diseño, se debe iterar varias veces, en este caso se obtuvo la siguiente:

Fig. 71. Sección Transversal de la Columna (Mástil)



Se procede a calcular el área de la sección transversal:

$$A = (L_{ext})^2 - (L_{int})^2$$

$$A = (50,8 * 10^{-3} m)^2 - (47,5 * 10^{-3})^2 \longrightarrow A = 3,2 * 10^{-4} m^2$$

Se procede a determinar el momento de inercia:

$$I = I_{ext} - I_{int} \longrightarrow I = \frac{(b_{ext} * h_{ext}^3) - (b_{int} * h_{int}^3)}{12}$$

$$I = \frac{(50,8 * 10^{-3} m) * (50,8 * 10^{-3} m)^3 - (47,5 * 10^{-3} m) * (47,5 * 10^{-3} m)^3}{12}$$

$$I = 1,31 * 10^{-7} m^4$$

De acuerdo con estos valores se determinan el radio de giro (K) y posteriormente la relación de esbeltez (Sr).

$$K = \sqrt{\frac{I}{A}} \longrightarrow K = \sqrt{\frac{1,31 * 10^{-7} m^4}{3,2 * 10^{-4} m^2}} \longrightarrow K = 2,01 * 10^{-2} m$$

La longitud de este mástil va a ser de 3m para evitar que le de sombra a los módulos solares.

$$Sr = \frac{L}{K} * l_{eff} \quad \text{donde } l_{eff} = \text{Longitud efectiva (depende de las condiciones de la viga)}$$

El valor de  $l_{eff}$  se encuentra en la siguiente tabla: (Tabla 4)

Se toma el valor recomendado por la norma AISC debido a que es más conservador que el valor teórico.

$$Sr = \frac{3m}{2,01 * 10^{-2} m} * 2,1 \longrightarrow Sr = 313,80$$

Después se compara al  $Sr_{calculado}$  con el  $(Sr)_D$ , el cual corresponde al punto tangente entre las curvas de Euler y Jonson mediante la siguiente relación:

$$(Sr)_D = \pi * \sqrt{\frac{2E}{S_y}}; \text{ del aluminio se tiene } E = 70 \text{ Gpa}, S_y = 62 \text{ Mpa}$$

$$(Sr)_D = \pi * \sqrt{\frac{2(70 * 10^9 Pa)}{62 * 10^6 Pa}} \longrightarrow (Sr)_D = 149,28$$

- Si  $Sr_{\text{calculado}} > (Sr)_D$  aplico la ecuación de Euler
- Si  $Sr_{\text{calculado}} < (Sr)_D$  aplico la ecuación de Johnson

De acuerdo a lo anterior se aplica la ecuación de Euler para determinar la carga crítica:

$$P_{\text{Critica}} = A * \left( \frac{\pi^2 \cdot E}{4 \cdot Sr^2} \right) \longrightarrow P_{\text{Critica}} = 3,2 * 10^{-4} m^2 * \left( \frac{\pi^2 \cdot 70 * 10^9 pa}{4 \cdot (313,80)^2} \right)$$



$$P_{\text{Critica}} = 568,99 N$$

Utilizando la carga crítica y la carga que se necesita que resista la columna se determina el factor de seguridad.

$$Fs = \frac{P_{\text{critica}}}{Fc} \longrightarrow Fs = \frac{568,99 N}{420,85 N} \longrightarrow Fs = 1,35$$

En la siguiente tabla se puede ver una comparación de la carga que puede soportar una columna de dos perfiles diferentes:

Tabla 29. Comparación de Carga Crítica en 2 Perfiles

Perfil de Aluminio	Dimensiones		Momento de Inercia $I (m^4)$	Carga P (N)		
	Lado o Diámetro (mm)	Espesor(mm)		$P_{\text{Critica}}$	$P_{\text{Aplicada}}$	$Fs$
	50,8	1,65	$7,70 * 10^{-8}$	335,17	420,85	0,80
	50,8	1,65	$1,31 * 10^{-7}$	568,99	420,85	1,35

## ***10. PLANOS DE INGENIERÍA***

Fig. 72 Dimensiones del Sistema de Bombeo

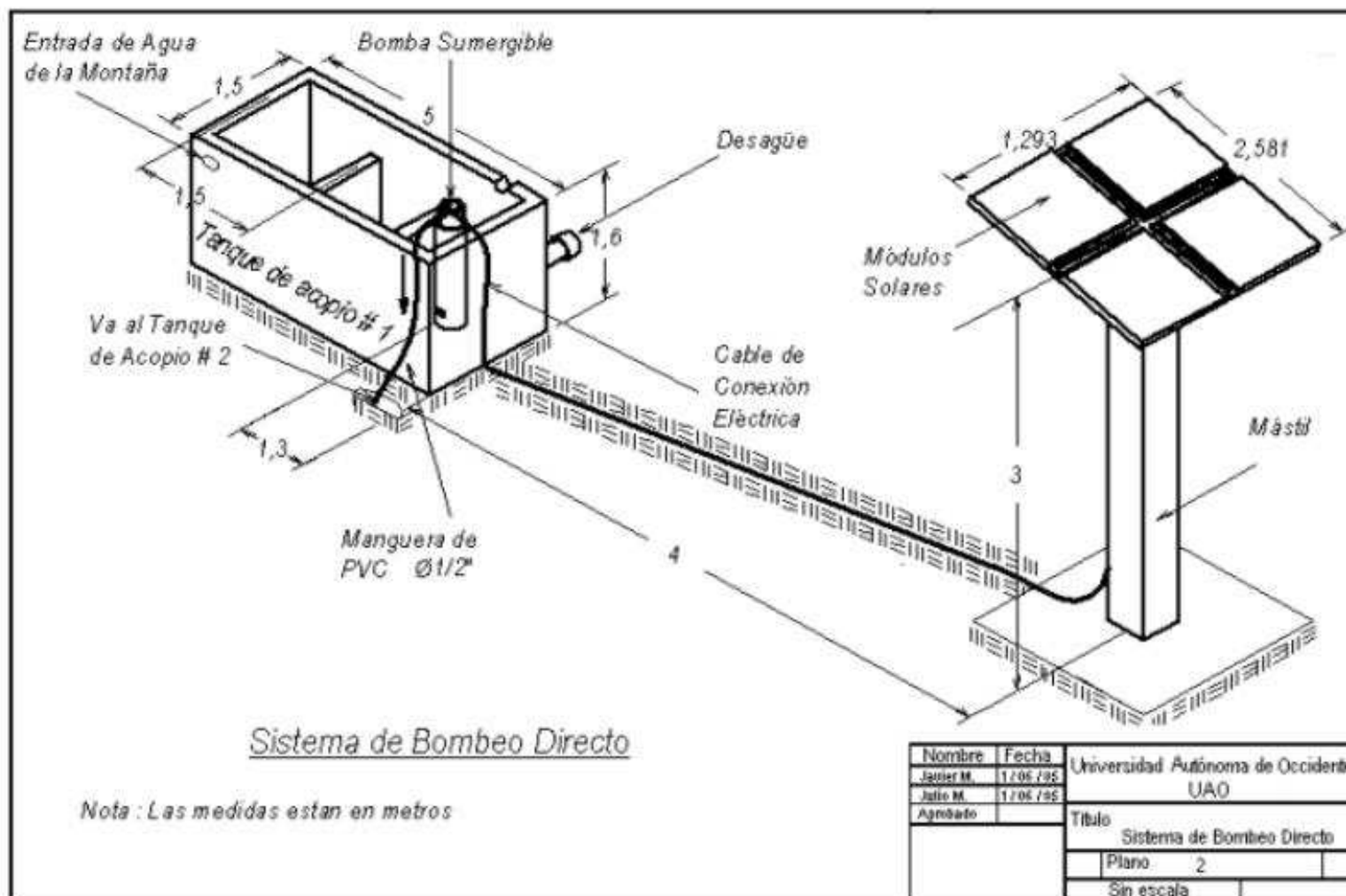




Fig. 73. Sistema de Bombeo



*Fig. 74. Detalle de la Ubicación de la Bomba en el Tanque de Acopio # 1*





Fig. 75. Dimensiones del Tanque de Acopio #2

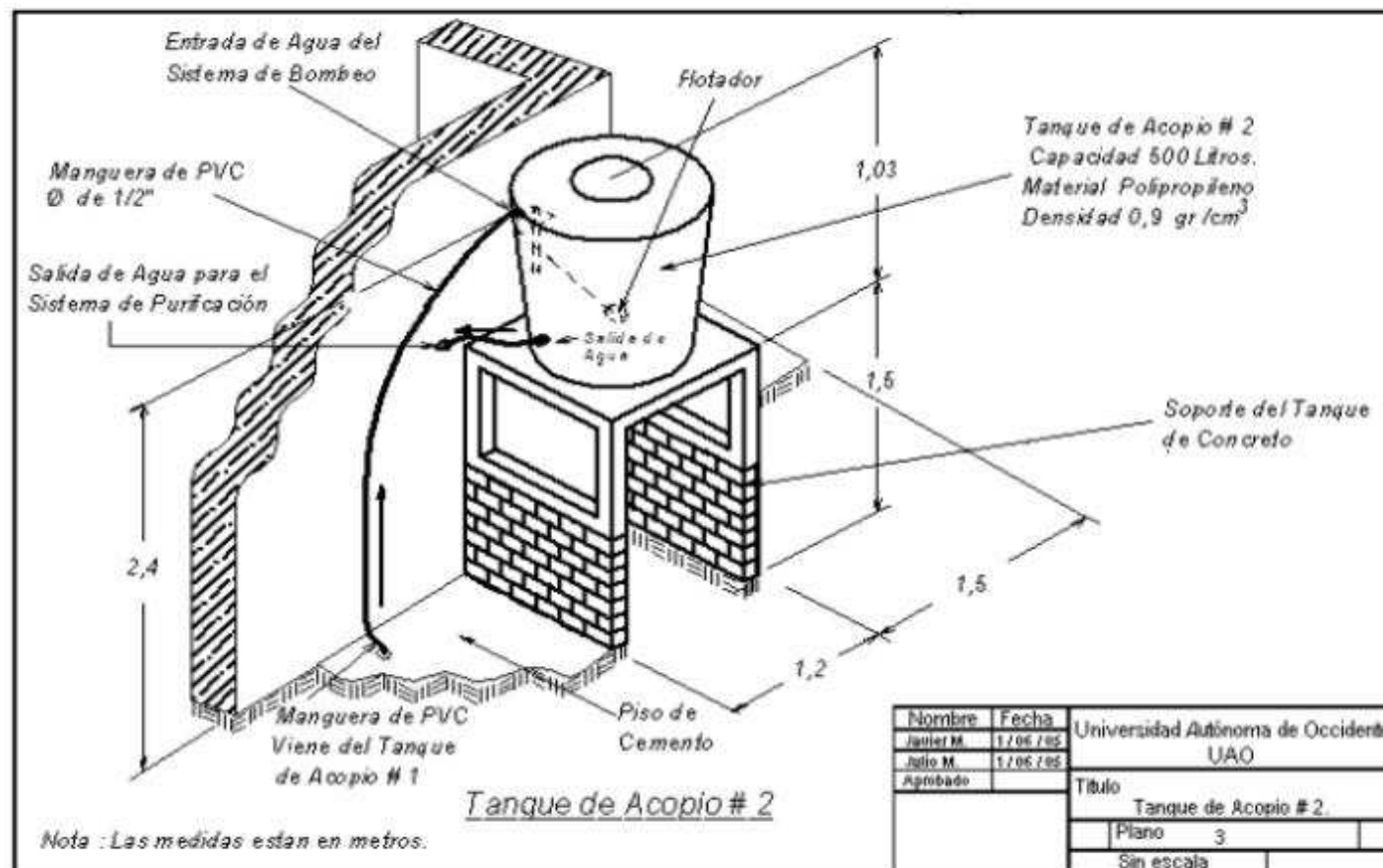


Fig. 76. Tanque de Acopio # 2

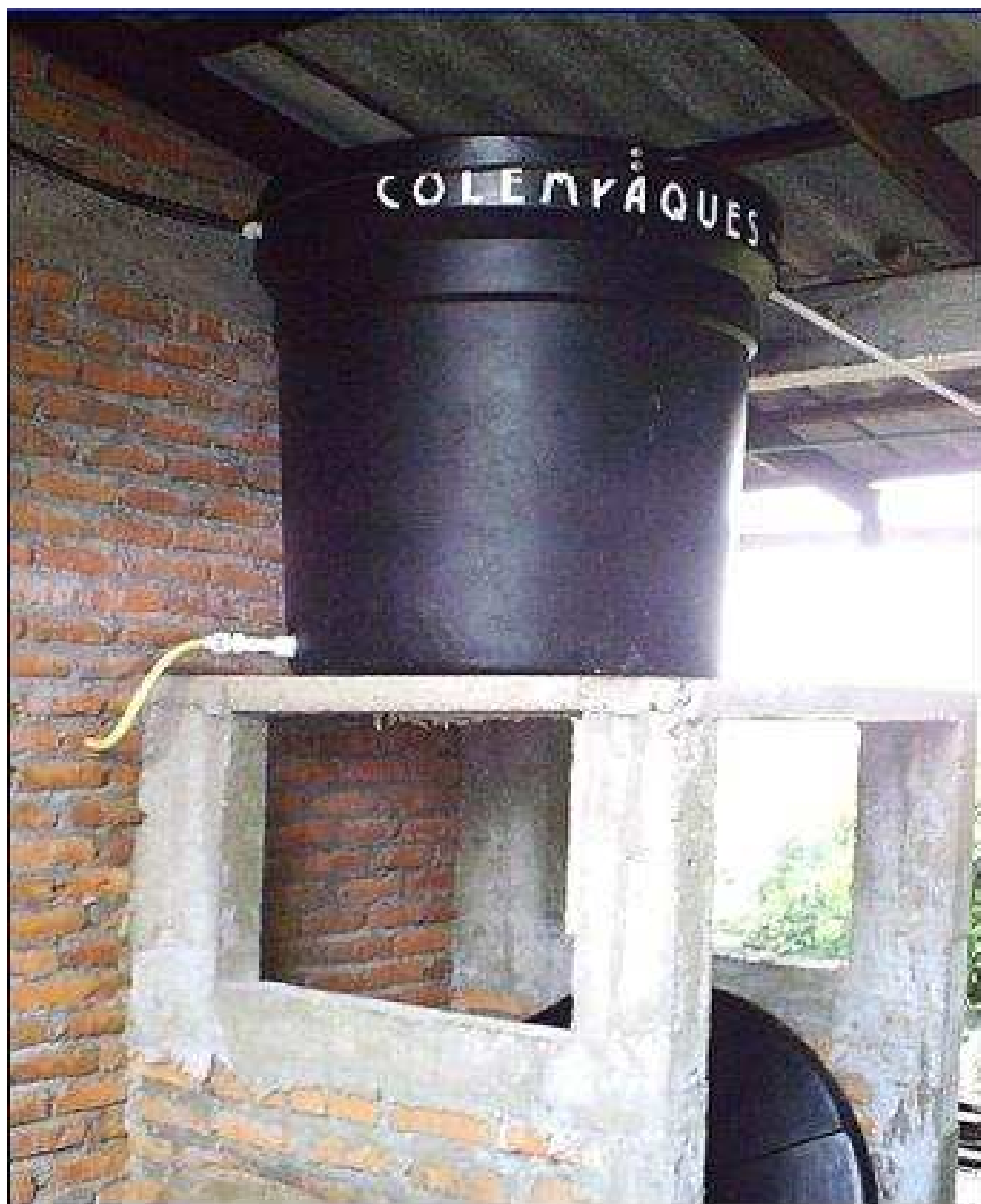
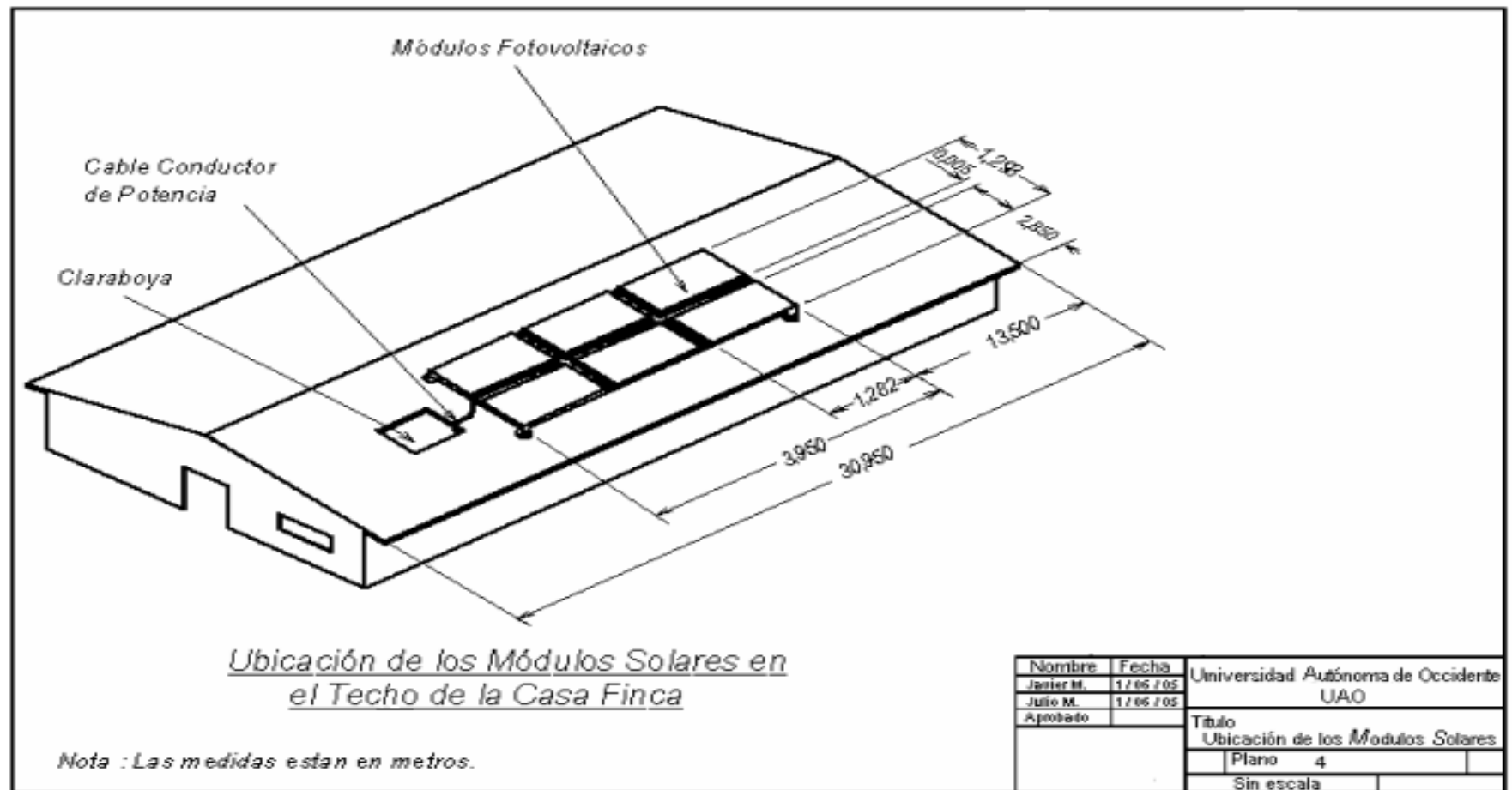


Fig. 77. Ubicación de los Módulos Solares en el Techo de la Casa Finca



*Fig. 78. Ubicación de los Módulos Solares en el Techo de la Casa Finca*



Fig. 79. Dimensiones del Sistema de Purificación

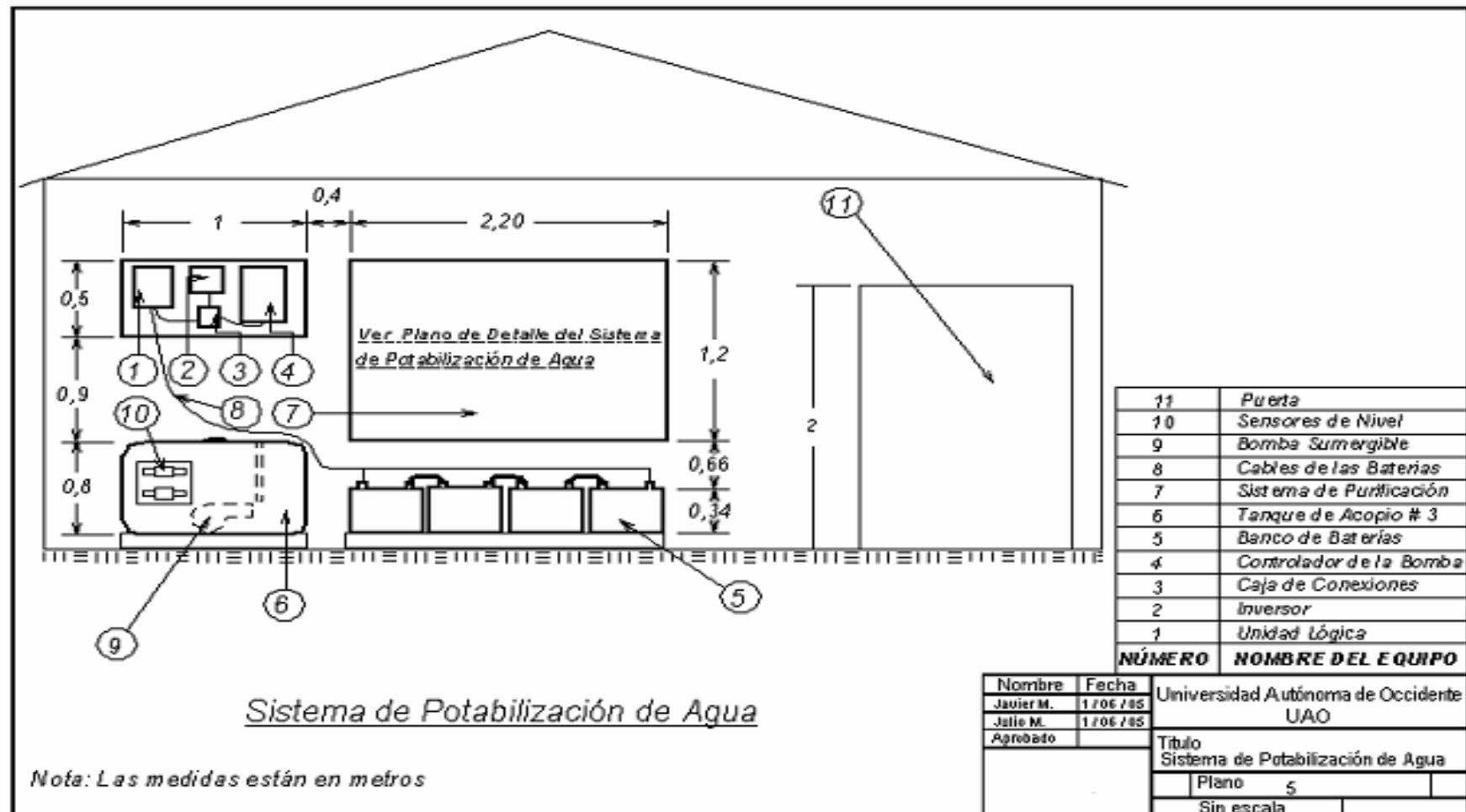
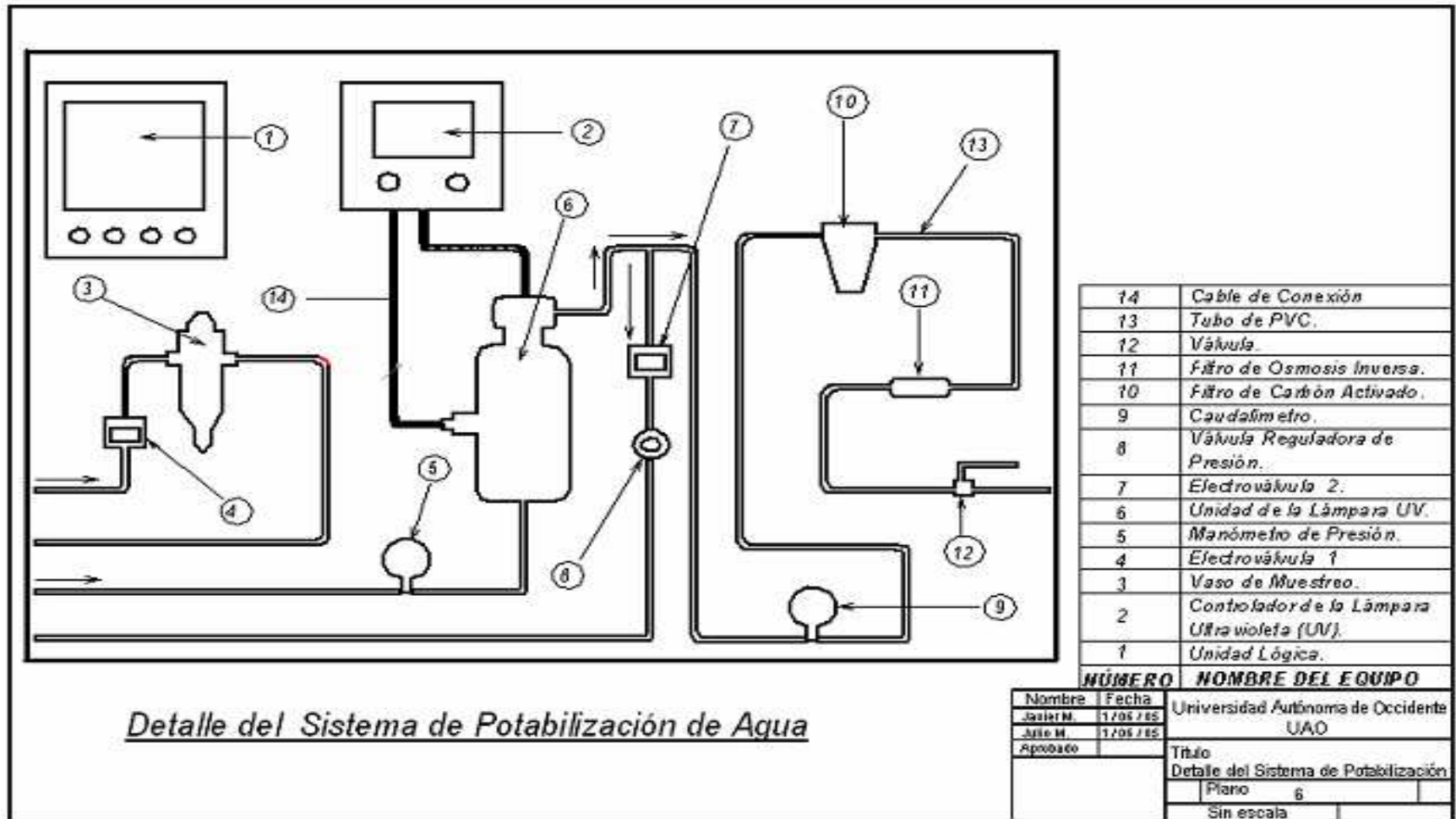




Fig. 80. Detalle del Sistema de Purificación





*Fig. 81. Sistema de Purificación*

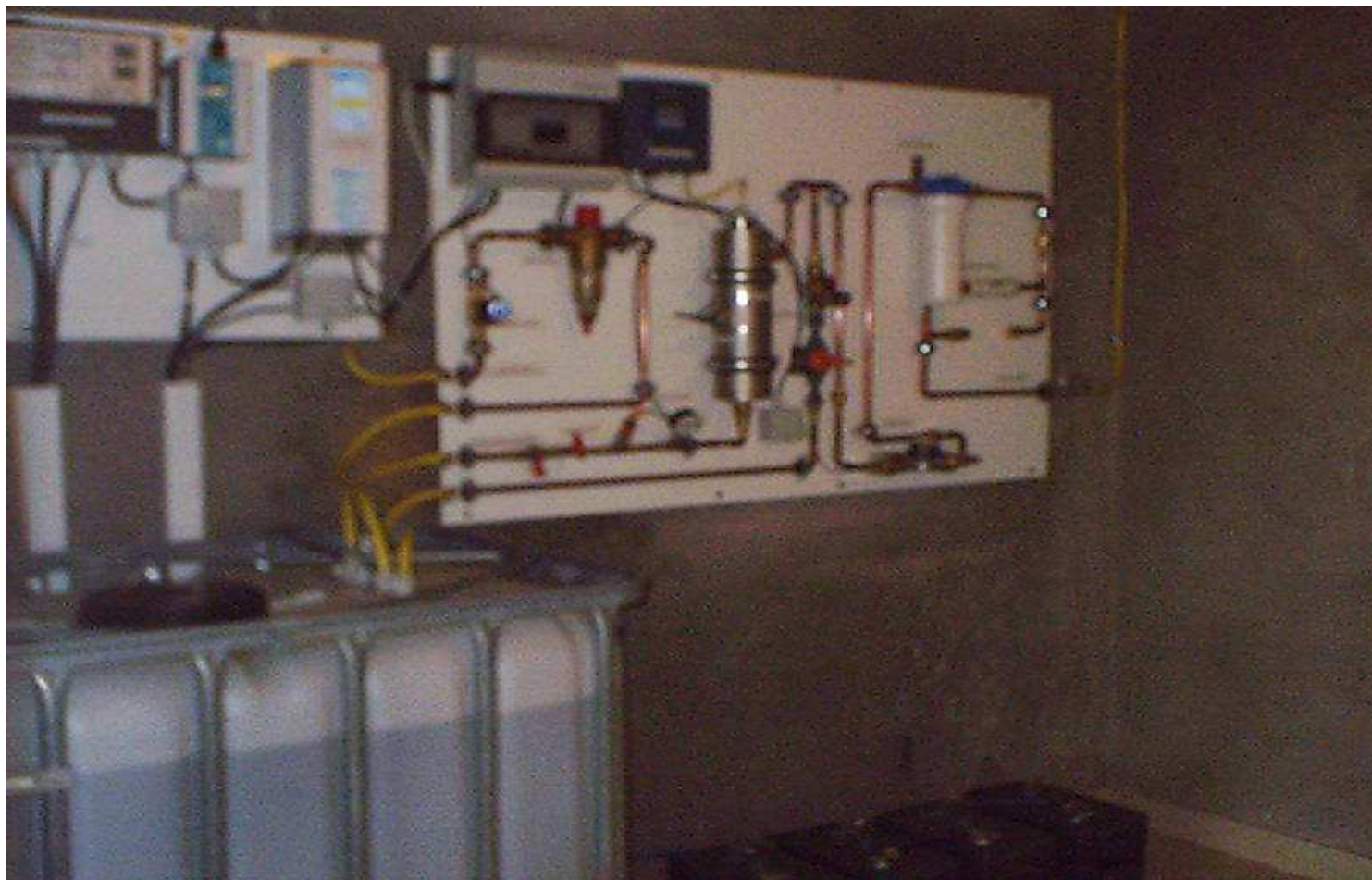


Fig. 82.. Identificación del Proyecto. Entidades y Personas Involucradas.



## **11. CONCLUSIONES**

- Como resultado de la elaboración del proyecto queda una guía metodológica para el desarrollo de este tipo de aplicaciones.
- hay un sobredimensionamiento del doble de la capacidad requerida por el sistema de baterías al consultar con el Ing. Fernando Montoya, manifestó que posiblemente es así para evitar inconvenientes y además tener en cuenta nuevos consumos.
- Se adquirió experiencia y seguridad en la realización de este tipo de diseños ya que el diseño se aproximó a lo que se monto en realidad.
- Las bombas seleccionadas difieren a las que se instalaron en cuanto a la referencia, potencia y curvas características.
- Hay diferencia entre el material de la tubería del circuito de purificación ya que el seleccionado en el diseño es PVC RDE 21, mientras que el instalado es una instalación entre cobre y bronce.

## **12. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda promover el uso de las fuentes alternas de energía en la universidad a través de la implementación y desarrollo de laboratorios y convenios con entidades gubernamentales y no gubernamentales.
- Se recomienda fortalecer los vínculos con entidades gubernamentales y no gubernamentales para el desarrollo de proyectos con fuentes alternas de energía que tengan como propósito la solución de problemas en zonas rurales y marginadas de los servicios públicos.
- Se recomienda realizar este tipo de proyectos en conjunto con estudiantes de ingeniería Eléctrica, Electrónica, Mecatrónica y/o Informática, que complementen y fortalezcan los alcances de este tipo de proyectos.
- Se recomienda en el montaje de los módulos fotovoltaicos en la estructura Metálica dejar una separación entre 3 y 5 mm entre módulos. Con el fin de tener en cuenta las dilataciones térmicas.
- Se recomienda evaluar el rendimiento mecánico y exergético de los sistemas finalmente instalados como siguiente paso a este proyecto.

## **BIBLIOGRAFÍA**

*Bombeo Fotovoltaico [en línea] España: Sandia, 2003 [Consultado 9-04-05]. Disponible en Internet: <http://www.re.sandia.gov/wp/wpGuia/bombeo.html>.*

*BORRERO, Andrés Alberto. Bombas Centrífugas. Cali, 1995. 138p. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico) Universidad Autónoma de Occidente. Division de Ingenierías*

*Cálculos para la electrificación solar [en línea] España: Codeso, 2004 [Consultado 10-03-05]. Disponible en Internet: [http://www. Cálculos para la electrificación solar 03 CODESO.htm](http://www.Cálculos para la electrificación solar 03 CODESO.htm).*

*Desinfección de Agua con Luz Ultravioleta [en línea] México: Liliana serrano, 2001 [Consultado 28-04-05]. Disponible en Internet: <http://mx.geocities.com/ionopura/3-4-02diaz.pdf>*

*Día Mundial del Agua [en línea] México D. F.: Profeco, 2003 [Consultado 23-02-05]. Disponible en Internet: <http://www.profeco.gob.mx/html/revista/publicaciones/adelantos>.*

*Documentos de Radiación Solar en Colombia [en línea] Bogotá: Radiación solar, 2004 [Consultado 6-03-05]. Disponible en Internet: [http://sky.net.co/energia/Radiacion\\_solar\\_l.htm](http://sky.net.co/energia/Radiacion_solar_l.htm) .*

*El Agua [en línea] México: Mimosa, 2003 [Consultado 9-04-05]. Disponible en Internet: [http://www.mimosa.cnice.mecd.es/~vgarci14/agua\\_potable.htm](http://www.mimosa.cnice.mecd.es/~vgarci14/agua_potable.htm).*

*Evaluación del Consumo Total España: Lorenzo Rodríguez, 2003 [Consultado 1-03-05]. Disponible en Internet: <http://solar.ujaen.es/cursolar.HTM>*

*Filtración por Carbón Activado [en línea] México D. F.: Aqua Purificación Systems, 2001 [Consultado 19-02-05]. Disponible en Internet: <http://www.excelwater.com/spa/b2c/gac.php>.*

*Guía para la Atención Nutricional [en línea] Bogotá: Ministerio de Salud, 2004 [Consultado 10-04-05]. Disponible en Internet: <http://arce.proteccioncivil.org/catalogo/otros/Milton%20Chaverri%20Nutricion.doc>*

*LOPEZ T., Edilberto. Aprovechamiento de la Energía solar en un Alumbrado. Cali, 1984. 256p. Trabajo de grado (Ingeniero electricista) Universidad Autónoma de Occidente. División de Ingenierías.*

*Manual Técnico [en línea] Bogotá: Pavco, 2003 [Consultado 1-03-05]. Disponible en Internet: <http://www.avipla.org/informacion/caracteristicas02.asp>.*

*MOTT, Robert L. Mecánica de Fluidos Aplicada. 4 ed. México: Prentice hall, 1996.582p.*

*NORTON, Robert L. Diseño de Máquinas. México: Prentice hall, 1999.1012p*

*Potabilización [en línea] Mendoza- Argentina: Osm, 2002 [Consultado 13-02-05]. Disponible en Internet: <http://www.osm.com.ar/html/Potabilizacion.htm>*

*Salud Ambiental y Agua para Uso y Consumo Humano [en línea] México D. F.: Salud Ambiental, 2004 [Consultado 15-02-05]. Disponible en Internet: <http://www.salud.gob/unidades/cdi/nom/127>*

*Solar Fotovoltaica [en línea] Santa Ana- Murcia: Inersol, 2004 [Consultado 1-03-05]. Disponible en Internet: <http://www.inersol.com>*

*Velocidades del Agua y Formulas para Cálculo [en línea] Bogotá: La Molina, 2001 [Consultado 28-02-05]. Disponible en Internet: <http://tarwi.lamolina.edu.pe/~dsa/Formuladecalculo.htm>*



# ***ANEXOS***



**LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE ALIMENTOS,  
AGUAS Y PRODUCTOS FARMACEUTICOS**

**ESTUDIO MICROBIOLOGICO DE AGUA  
( TECNICA FILTRACION POR MEMBRANA )**

**- I Net -**  
LABORATORIO

**EMPRESA** ATN. SR FERNANDO MONTOYA  
ASEGURAMIENTO DE CALIDAD  
Tel: 336 8603

REF: 812

**MUESTRA** AGUA - LA FINCA  
4:17 p.m.  
**CONDICION** LIQUIDO

**FECHA DE RECIBO** JULIO 05 - 2005  
**FECHA ANALISIS** JULIO 05 - 2005  
**FECHA RESULTADO** JULIO 08 - 2005

ANALISIS	METODO	ESPECIFICACION SEGUN Min Salud Resol 475/98 ( Agua Potable )	RESULTADO
Rtc Total de Aerobios Mesófilos	Filtración por Membrana	Hasta 100 UFC / 100 ml	0 UFC / 100 ml
Coliformes Totales / 100 ml	Filtración por Membrana	0 UFC / 100 ml	0 UFC / 100 ml
Coliformes Fecales: 45°C	Filtración por membrana	0 UFC / 100 ml	0 UFC / 100 ml
Escherichia coli	ISO 7251	AUSENTE	AUSENTE

**NOTA:**

1. Los resultados analizados concuerdan con los parámetros establecidos según MINSA/D Res. 475/98 para agua potable.

El resultado solo es aplicable a la muestra analizada.

Este documento no se permite reproducir, sin la autorización expresa de la dirección del laboratorio.

*Maria Teresa Angel R.*  
**MARIA TERESA ANGEL R.**  
Bacterióloga Microbióloga  
Jefe de Laboratorio

